

TUGAS AKHIR
KL. 1702

ANALISA KEANDALAN
BANGUNAN LEPAS PANTAI TIPE TERPANCANG
DENGAN METODE β UNZIPPING



PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	7-8-2000
Pinjam dari	H
No. Agenda Prp.	21.1551

RS Ke
627.98
Kri
a-1
2000

Disusun Oleh :

DWI KRISTIANTO
NRP. 4392.100.033

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2000



**ANALISA KEANDALAN
BANGUNAN LEPAS PANTAI TIPE TERPANCANG
DENGAN METODE β UNZIPPING**

TUGAS AKHIR

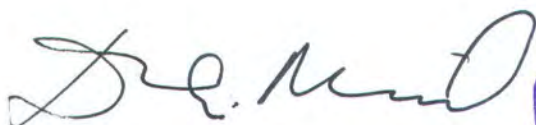
**Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Untuk Menyelesaikan Studi Program Sarjana Teknik
Pada
Jurusan Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya**

Surabaya, Mei 2000


Mengetahui / Menyetujui

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,



Ir. DANIEL M. ROSYID, PhD.
NIP. 131 782 038



Ir. EKO BUDI DJATMIKO, MSc., PhD.
NIP. 131 407 592



ABSTRAK

Faktor penentu unjuk kerja BLP seringkali belum dapat diketahui secara pasti sehingga safety factor digunakan untuk mencapai batas keamanan tertentu. Di lain pihak, analisa keandalan menawarkan pemahaman batas keamanan yang lebih rasional dibandingkan dengan penggunaan safety factor. Jumlah moda kegagalan sistem struktural biasanya sangat banyak sehingga peluang kegagalan sistem tidak mungkin dihitung secara eksak. Dengan metode β Unzipping moda kegagalan yang dominan dapat ditentukan dan peluang kegagalan sistem dapat dihitung dari moda kegagalan yang terpilih. Studi kasus telah dilakukan terhadap empat konfigurasi BLP yang merupakan variasi dari satu konfigurasi BLP yang mengalami penipisan ketebalan dinding silinder. Prosentase penipisan ketebalan dinding silinder konfigurasi I, II, III dan IV adalah 0%, 5%, 10% dan 15%. Konfigurasi I memiliki β tertinggi dengan Pf terendah pada setiap level analisa. Konfigurasi II, III dan IV menyusul pada urutan kedua, tiga dan empat. Pada level 1 yang mengasumsikan mekanisme keruntuhan terdiri dari satu elemen kegagalan didapatkan hasil berupa: konfigurasi I didapatkan β sebesar 2.5498 dengan Pf sebesar $5.3888 \cdot 10^{-3}$, sedangkan untuk konfigurasi II didapatkan β sebesar 2.4775 dengan Pf sebesar $6.6147 \cdot 10^{-3}$, untuk konfigurasi III didapatkan β sebesar 2.3500 dengan Pf sebesar $8.9043 \cdot 10^{-3}$ dan terakhir untuk konfigurasi IV didapatkan β sebesar 2.3196 dengan Pf sebesar $1.0182 \cdot 10^{-2}$. Hal ini menunjukkan bahwa pengurangan ketebalan dinding silinder sebanding dengan penurunan indeks keandalan sistem dan berbanding terbalik dengan penambahan peluang kegagalan sistem struktural. Selanjutnya, peningkatan level analisa yaitu penambahan jumlah fenomena kegagalan elemen mengakibatkan penambahan nilai β dan pengecilan nilai Pf. Dari konfigurasi IV, pada level 1 didapatkan β sebesar 2.3196 dengan Pf sebesar $1.0182 \cdot 10^{-2}$ sementara itu pada level 2 yang mengasumsikan bahwa mekanisme keruntuhan terdiri dari dua fenomena kegagalan didapatkan β sebesar 4.0500 dengan Pf sebesar $2.6116 \cdot 10^{-5}$. Pada level 3 dengan asumsi bahwa mekanisme keruntuhan terdiri dari tiga fenomena kegagalan elemen didapatkan β sebesar 5.2741 dengan Pf sebesar $6.6731 \cdot 10^{-8}$. Dari sini diketahui bahwa peningkatan/penambahan harga indeks keandalan sebanding dengan penambahan/peningkatan level analisa yang dilakukan. Demikian juga dengan peluang kegagalan, penambahan level analisa mengakibatkan penurunan peluang kegagalan sistem.

KATA PENGANTAR

Puji Tuhan adalah kalimat pertama yang saya panjatkan pada Tuhan atas Penyertaan dan Kasih Setia-Nya kepada saya sehingga Tugas Akhir ini dapat saya selesaikan dengan baik. “ *Mintalah maka kau akan diberi* “ bukan lagi sebuah firman kosong akan tetapi telah menjadi keajaiban nyata dalam hidup saya. Terima kasih Tuhan.

Keterbatasan sumber daya pendukung dan kurangnya pembahasan topik serupa dirasakan sebagai beberapa faktor penghambat penyelesaian tugas akhir ini. Walaupun demikian, cukup banyak pengalaman dan pengetahuan yang saya dapatkan selama penyelesaian tugas akhir ini, semuanya menjadi pelajaran yang sangat penting dalam hidup dan masa depan saya.

Dalam kesempatan yang indah ini, saya ingin mengucapkan terima kasih atas bantuan, bimbingan dan dukungan yang telah diberikan kepada saya dalam penyelesaian tugas akhir ini, antara lain kepada :

1. Prof. Palle Toft-Christensen di University Aalborg, Denmark dan Prof. Dr-Ing habil R. Rackwitz di Technische Universität München, Jerman yang telah berkenan memberikan dan mengirimkan salinan beberapa makalah secara cuma-cuma.
2. Ir. Daniel M. Rosyid, PhD dan Ir. Eko Budi Djatmiko, MSc., PhD., selaku Dosen Pembimbing I dan II yang telah membimbing dan mengarahkan dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.
3. Ir. Widi Agus Pratikto, MSc., PhD., selaku Dosen Wali yang telah bersedia menyertai dan memberikan perhatian selama proses belajar saya di ITS.

4. Majelis Jemaat GKJW Jemaat Simomulyo Surabaya khususnya Pendeta Adi Sanyoto, STh, yang telah berkenan memberikan ijin untuk menggunakan komputer jemaat.
5. Bapak, Ibu dan keluargaku tercinta yang telah berusaha sekuat tenaga untuk menjadikan salah satu anaknya memiliki pendidikan tinggi dan berdoa memohon penyertaan-Nya dalam setiap aktivitas saya
6. Dessri Yani Dewipurwanti, adindaku tersayang yang selalu memberikan perhatian dan dorongan untuk dapat segera menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Pasukan Laut'92 dan Penghuni Lantai IV, diantaranya : Apit, Topik, Hasbi, Daryono, Paulus dan Anggun. Terima kasih atas persahabatan yang begitu kental dan akrab.
8. Semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu pada kesempatan ini.

Tiada gading yang tak retak. Demikian juga tugas akhir ini, walaupun saya telah berusaha secara maksimal, akan tetapi masih ada beberapa hal yang mungkin kurang berkenan. Oleh karena itu saya mohon maaf dan saya sangat terbuka terhadap kritik-kritik membangun demi kemajuan ilmu pengetahuan dan pendewasaan pengetahuan saya. Sekali lagi saya mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Biarlah Berkat-Nya selalu tercurah atas kita semua, Amin.

Surabaya, Mei 2000.

Dwi Kristianto

DAFTAR ISI

Daftar Isi.....	v
Daftar Gambar.....	viii
Daftar Tabel.....	ix
Daftar Simbol.....	x

BAB I PENDAHULUAN

I.1 LATAR BELAKANG.....	I-1
I.2 PERMASALAHAN.....	I-2
I.3 TUJUAN.....	I-2
I.4 BATASAN MASALAH.....	I-2
I.5 METODOLOGI PENELITIAN.....	I-4
I.6 SISTEMATIKA PENULISAN.....	I-5

BAB II KONSEP ANALISA KENDALAN

II.1 KONSEP KETIDAKTENTUAN.....	II-1
II.2 TEORI PROBABILITAS.....	II-3
II.2.1 Umum.....	II-3
II.2.2 Ruang Sample.....	II-4
II.2.3 Peluang.....	II-5
II.2.4 Peubah Acak.....	II-6
II.2.5 Momen Peubah Acak.....	II-7
II.2.6 Momen dari Fungsi Peubah Acak.....	II-8

II.3	ANALISA KEANDALAN STRUKTUR	II-9
II.3.1	Umum.....	II-9
II.3.2	Estimasi Keandalan Elemen Tunggal	II-12
II.3.3	Perilaku Mekanis Elemen Struktural	II-15
II.3.4	Sistem Fundamental	II-17

BAB III METODE β UNZIPPING

III.1	KONSEP DASAR.....	III-1
III.2	PEMBENTUKAN BATAS KEAMANAN	III-2
III.2.1	Kapasitas Elemen Kegagalan.....	III-3
III.2.2	Efek-efek Pembebanan.....	III-4
III.3	ANALISA PADA LEVEL 0	III-4
III.4	ANALISA PADA LEVEL 1	III-5
III.5	ANALISA PADA LEVEL 2.....	III-6
III.6	ANALISA PADA LEVEL n.....	III-7
III.7	ANALISA PADA LEVEL MEKANISME KERUNTUHAN....	III-9

BAB IV PERHITUNGAN DAN ANALISA

IV.1	PROGRAM KOMPUTER	IV-1
IV.2	DATA STRUKTUR.....	IV-2
IV.3	HASIL RUNNING BETA UNZIPPER	IV-5
IV.4	ANALISA.....	IV-7

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN PENGEMBANGAN

V.1 KESIMPULAN	V-1
----------------------	-----

V.2 SARAN PENGEMBANGAN	V-3
------------------------------	-----

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN A Data Struktur untuk Studi Kasus

LAMPIRAN B Hasil Analisa 4 konfigurasi dengan Beta Unzipper

LAMPIRAN C User Interface Beta Unzipper

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1	Perjanjian tanda dan arah gaya.....	II-13
Gambar II.2	Elemen Kegagalan yang Getas Sempurna	II-15
Gambar II.3	Elemen Kegagalan yang Ulet Sempurna	II-16
Gambar II.4	Perilaku Pasca Kegagalan sebuah Elemen Kegagalan.....	II-17
Gambar II.5	Sistem seri dengan n elemen kegagalan penyusun	II-17
Gambar II.6	Sistem paralel dengan n elemen kegagalan penyusun	II-19
Gambar III.1	Pohon kegagalan pada level 2.....	III-7
Gambar III.2	Pemodelan sistem seri pada level 2	III-7
Gambar III.3	Pohon kegagalan pada level n.....	III-8
Gambar III.4	Pemodelan sistem seri pada level n	III-8
Gambar IV.1	Tampilan Input Material Properties pada Beta Unzipper ..	IV-3
Gambar IV.2	Tampilan Section Calculator pada Beta Unzipper.....	IV-4
Gambar IV.3	Tampilan Input Section Properties pada Beta Unzipper....	IV-5
Gambar IV.4	Indeks Keandalan vs Level Analisa.....	IV-6
Gambar IV.5	Peluang Kegagalan vs Level Analisa.....	IV-7

DAFTAR TABEL

Tabel IV.1	Data-data Umum.....	IV-2
Tabel IV.2	Konfigurasi Cross Section	IV-2
Tabel IV.3	Yield Strength dari API	IV-2
Tabel IV.4	Material Properties.....	IV-3
Tabel IV.5	Konfigurasi Cross Section disertai Toleransi	IV-3
Tabel IV.6	Tabulasi Konfigurasi	IV-5
Tabel IV.7	Hasil Running Konfigurasi I.....	IV-6

DAFTAR SIMBOL

μ	:	Nilai rata-rata
σ	:	Simpangan baku (standard deviasi)
\mathcal{R}	:	Keandalan suatu sistem
β	:	Indeks keandalan
β_{\min}	:	Indeks keandalan minimum
Φ	:	Fungsi distribusi normal standard
ρ	:	Koefisien korelasi
ϕ	:	Fungsi kerapatan peluang normal standard
$\Delta\beta$:	Konstanta lebar interval indeks keandalan
$\text{Cov}(A)$:	Koefisien variasi variabel A
M	:	Batas keselamatan (safety margin)
$P(A)$:	Peluang terjadinya sebuah even A
P_f	:	Peluang kegagalan
P_{fs}	:	Peluang kegagalan sistem seri
P_{fp}	:	Peluang kegagalan sistem paralel
R	:	Kapasitas suatu sistem (resistance)
S	:	Efek-efek beban suatu sistem (load effect)





BAB I

Pendahuluan



BAB I

PENDAHULUAN

I.1 LATAR BELAKANG

Sifat beban-beban lingkungan yang acak serta kurangnya analisa dalam sebuah perancangan Bangunan Lepas Pantai (BLP) merupakan penyebab digunakannya safety factor (faktor keamanan) setiap kali seorang perancang akan menggunakan sebuah parameter perancangan. Dalam kenyataannya, seringkali dilakukan adopsi nilai-nilai pesimistik terhadap tinggi gelombang, periode gelombang, kecepatan angin, kecepatan arus serta koefisien hidrodinamis tersebut guna mendekati fenomena lingkungan yang serba acak (Planeix, 1979).

Walaupun karakter fisik beberapa material konstruksi tertentu telah dapat didefinisikan secara statistik dengan baik, akan tetapi hal ini belum banyak membantu dalam analisa probabilistik. Perilaku statistik material konstruksi tersebut banyak dipengaruhi oleh gejala-gejala dengan variasi yang cukup lebar, antara lain : kualitas pekerja, inspeksi, toleransi, dan cuaca (Vrijing et. al., 1979).

Penilaian batas-batas keamanan secara rasional sangat diperlukan dalam perancangan sebuah BLP karena (seperti struktur besar lainnya) BLP dapat mengalami kerusakan dalam skala besar. Selain itu, biaya pembuatan dan instalasi konstruksi yang sangat besar merupakan salah satu hal yang perlu dipertimbangkan dalam perancangan BLP. Penilaian tersebut dapat dilakukan dengan bantuan analisa keandalan. Bagaimanapun analisa yang dilakukan bukan untuk menghitung peluang kegagalan secara eksak akan tetapi memasukkan beberapa aspek yang diabaikan dalam analisa deterministik (Bouma, 1979).

Pada metode tradisional, kegagalan seluruh struktur didefinisikan sebagai kegagalan satu komponen atau satu joint (sambungan). Dalam kenyataannya, kebanyakan struktur masih dapat berperilaku secara normal walaupun beberapa komponen struktur tersebut telah gagal. Khusus untuk BLP dengan derajat redundansi yang sangat tinggi, metode tersebut dirasakan terlalu konservatif untuk diaplikasikan dalam perancangan sebuah BLP (Shengkun, 1996).

Sistem struktural adalah sistem yang sangat kompleks sehingga perhitungan peluang kegagalan sistem struktural secara eksak tidak mungkin untuk dilakukan. Jumlah moda kegagalan yang mungkin terjadi sangat banyak sehingga keandalan sistem struktural diperkirakan dengan mempertimbangkan beberapa moda kegagalan yang dominan saja. Dengan metode β Unzipping moda kegagalan sistem struktural yang dominan tersebut dapat ditentukan sehingga analisa keandalan BLP dapat terwujud. (Toft, 1986)

I.2 PERMASALAHAN

Bagaimanakah keandalan sebuah BLP bila ditinjau dengan metode β Unzipping ?

I.3 TUJUAN

Melakukan analisa keandalan suatu BLP dengan metode β Unzipping.

I.4 BATASAN MASALAH

Titik berat pembahasan dan analisa pada tugas akhir ini adalah didapatkannya informasi berupa tingkat keandalan suatu sistem struktural dalam



suatu kondisi pembebanan tertentu. Pada tugas akhir ini beban gelombang tidak diikutsertakan sebagai salah satu beban yang diaplikasikan pada sistem struktural, hal ini disebabkan oleh rumitnya proses penurunan rumus dan perhitungan yang harus dilakukan sebelum dapat melakukan proses-proses perhitungan pada metode β Unzipping. Walaupun demikian paket aplikasi yang dibuat khusus untuk menyelesaikan permasalahan diatas (Beta Unzipper) menyediakan fasilitas untuk memasukkan beban-beban tambahan dalam bentuk peubah acak.

Berikut ini beberapa batasan-batasan permasalahan dalam tugas akhir ini :

1. Sifat material (material properties) dan dimensi penampang elemen adalah peubah acak dasar penyusun kekuatan elemen yang saling bebas dan terdistribusi normal.
2. Efek-efek pembebanan akibat kombinasi beban tidak diperhitungkan.
3. Data-data masukan sebagai studi kasus didapatkan dari literatur dan sudah tersedia, antara lain : sifat material (material properties), dimensi penampang member dan konfigurasi struktur.
4. Berat deck, berat peralatan tambahan dan beban-beban operasional adalah beban-beban yang diaplikasikan pada struktur dan ditransformasikan menjadi beban terpusat pada titik simpul.
5. Studi kasus adalah BLP tipe terpancang (fixed offshore structure).
6. Moda kegagalan elemen adalah kegagalan akibat beban aksial tarik/tekan pada tengah elemen dan pembentukan engsel plastis pada ujung i dan j akibat momen bending pada bidang 1-2 dan 1-3.
7. Karakter probabilistik batas keamanan didapatkan dengan metode MVFOSM.

8. Setiap mekanisme keruntuhan yang terbentuk secara otomatis oleh program diasumsikan independen dan tidak berkorelasi dengan mekanisme keruntuhan lain.

I.5 METODOLOGI PENELITIAN

Langkah pertama yang dilakukan adalah studi literatur lanjutan tentang konsep analisa keandalan pada sistem struktural terutama analisa keandalan dengan metode β Unzipping. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan pemahaman pada konsep dasar dan aplikasi analisa keandalan struktur dengan metode β Unzipping.

Berdasarkan informasi yang didapatkan pada studi literatur awal, Metode β Unzipping memanfaatkan Direct Stiffness Method untuk mendapatkan koefisien pengaruh yang kemudian digunakan sebagai data penyusun margin keselamatan (safety margin). Berkaitan dengan hal tersebut, langkah kedua yang dilakukan adalah pembuatan program komputer untuk memudahkan pelaksanaan analisa dan pencapaian tujuan tugas akhir ini. Bahasa pemrograman yang dipakai adalah Inprise Delphi release 5.0 dengan metode pemrograman berbasis obyek (OOP – Object Oriented Programming). Persiapan yang diperlukan dalam pembuatan program komputer tersebut antara lain :

- Persiapan rumus-rumus analisa kekuatan struktur dengan metode kekakuan langsung (Direct Stiffness Method).
- Persiapan rumus analisa keandalan sistem struktural dengan metode β Unzipping.

Hasil-hasil (output) program pada tiap tahapan perhitungan diuji kebenarannya dengan perhitungan manual, contoh soal pada literatur maupun dengan perangkat lunak yang sudah ada.

Langkah yang ketiga adalah melakukan studi kasus berdasarkan data yang telah tersedia. Analisa keandalan dilakukan pada level yang berbeda dan hasil yang didapatkan dijadikan sebagai dasar diskusi untuk mengambil kesimpulan akhir.

I.6 SISTEMATIKA PENULISAN

BAB I : Berisi latar belakang, permasalahan, tujuan, batasan masalah, metodologi penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II : Berisi penjelasan konsep dasar analisa keandalan sebagai dasar pemecahan masalah, meliputi : konsep ketidakpastian, teori probabilitas dan analisa keandalan pada sistem struktural.

BAB III : Berisi penjelasan konsep dan penggunaan metode β Unzipping, meliputi : pembentukan batas keamanan, analisa pada level 0 sampai dengan level mekanisme keruntuhan.

BAB IV : Berisi tentang penjelasan perhitungan dan analisa, meliputi : program komputer, studi kasus dan analisa hasil yang didapatkan.

BAB V : Berisi tentang kesimpulan dari analisa keandalan yang dilakukan dan beberapa saran pengembangan.



BAB II

Konsep Analisa Keandalan

MILIK PERPUSTAKAAN
ITS

BAB II

KONSEP ANALISA KEANDALAN

I.1 KONSEP KETIDAKTENTUAN

Kondisi lingkungan yang selalu berubah dari satu waktu ke waktu yang lain mengakibatkan permasalahan yang cukup serius pada pemodelan kondisi lingkungan tersebut. Sementara itu, kemampuan suatu sistem seringkali ditentukan oleh faktor-faktor yang memiliki variasi yang cukup lebar. Sehingga dapat disimpulkan bahwa perancangan sebuah sistem selalu terkait dengan ketidakpastian. Selanjutnya diperlukan pemahaman yang cukup memadai untuk dapat mewujudkan sistem yang memenuhi kriteria ekonomis dan kriteria perancangan yang lain.

Di dalam suatu proses rekayasa suatu sistem, kerap kali dilakukan pengambilan keputusan tanpa memandang kelengkapan atau mutu informasi yang tersedia. Dengan demikian suatu keputusan biasanya diambil pada keadaan yang tidak pasti, dalam pengertian bahwa konsekuensi suatu keputusan tidak dapat ditentukan dengan keyakinan yang sempurna. Kebanyakan masalah-masalah yang timbul dalam proses rekayasa adalah proses dan fenomena alamiah yang pada dasarnya bersifat tak tentu sehingga tidak dapat dijabarkan secara pasti (definite). Untuk alasan ini, keputusan yang diperlukan dalam proses rekayasa harus dilakukan pada kondisi yang tidak pasti. (Ang, 1987)

Sumber utama ketidaktentuan adalah keacakan yang terkait dengan gejala probabilistik itu sendiri, misalnya : beban kerja yang akan diaplikasikan pada sistem, sifat-sifat material penyusun, dimensi dan hal-hal lain yang terkait dengan kuantitas fisik. Keacakan ini selalu dikaitkan dengan suatu variabilitas tertentu dan dijelaskan dengan distribusi peluang dan proses-proses stokastik. Ketidaktentuan ini seringkali disebut sebagai ketidaktentuan fisik.

Sumber kedua dari ketidaktentuan adalah model statistik yang akan digunakan untuk menjelaskan besaran-besaran fisik diatas. Penentuan jumlah data sample yang akan dipakai, pemilihan jenis distribusi dan penentuan parameter-parameter distribusi seringkali ditentukan secara subyektif oleh seorang perancang. Ketidaktentuan ini disebut sebagai ketidaktentuan statistik.

Pada kenyataannya, model matematis sebuah sistem tidak akan pernah dapat ditentukan secara eksak sehingga penyederhanaan permasalahan dan idealisasi harus dilakukan. Pemilihan model yang digunakan akan sangat mempengaruhi hasil analisa sehingga ketidaktentuan model ini harus dipertimbangkan dalam analisa keandalan. (Lowell et. al, 1991; Toft, 1986)

Ketidaktentuan ini tentunya sangat berpengaruh pada perencanaan dan perancangan suatu sistem. Akan tetapi, kuantifikasi (penentuan besarnya) ketidaktentuan yang terjadi, penilaian (evaluasi) pengaruh-pengaruh ketidaktentuan tersebut pada perilaku dan unjuk kerja suatu sistem tidak mudah untuk dilakukan dan hanya bisa dilakukan dengan konsep dan metode probabilitas. (Ang, 1987)

Dalam kondisi operasionalnya, unjuk kerja BLP dipengaruhi beberapa faktor yang pada umumnya belum dapat ditentukan dan diketahui secara pasti

sehingga perancangan BLP memerlukan pemahaman mengenai ketidaktentuan yang mempengaruhinya. Berikut ini beberapa ketidaktentuan yang mempengaruhi BLP, antara lain :

1. Ketidaktentuan pada beban-beban lingkungan yang disebabkan oleh kondisi gelombang dan arus air yang selalu berubah-ubah.
2. Ketidaktentuan pada kekuatan BLP yang dipengaruhi oleh beberapa hal, misalnya : sifat-sifat material yang digunakan sebagai material konstruksi, kualitas proses fabrikasi.
3. Ketidaktentuan penentuan model untuk kondisi lingkungan, analisa kekuatan dan analisa keandalan.

II.2 TEORI PROBABILITAS

II.2.1 Umum

Seorang perancang pada dasarnya berurusan dengan penyajian dan penafsiran hasil yang berkemungkinan (hasil yang belum dapat ditentukan sebelumnya). Walaupun demikian kita dapat mengetahui seluruh kemungkinan yang dapat terjadi (Walpole, 1978).

Bila kita berbicara tentang probabilitas maka kita akan menunjuk suatu kejadian relatif terhadap kejadian-kejadian lainnya sehingga ada lebih dari satu kemungkinan, bila tidak maka masalahnya menjadi tertentu (deterministik). Untuk ukuran kualitatif, probabilitas dapat dipandang sebagai ukuran numerik kecenderungan terjadinya suatu kejadian relatif terhadap sehimpunan kejadian lain. Permasalahan pertama dalam masalah probabilistik adalah mengidentifikasi himpunan semua kemungkinan (ruang kemungkinan/possibility sapce) dan

kejadian yang ditinjau. Dengan demikian, probabilitas berkaitan dengan kejadian yang spesifik dalam suatu ruang kemungkinan.

II.2.2 Ruang Sample

Dalam statistika digunakan istilah 'percobaan' untuk menjelaskan setiap proses yang menghasilkan kumpulan data yang menjelaskan variasi sebuah fenomena tertentu. Gugus dari semua hasil yang mungkin dari sebuah kejadian disebut dengan ruang sampel (S) dan setiap hasil yang berbeda disebut dengan hasil dasar. Kumpulan hasil dasar yang dapat dijelaskan dengan penggambaran tertentu disebut sebagai kejadian.

Ruang sample yang jumlah elemennya *Countably Infinite* (tak hingga terhitung) disebut sebagai ruang sample diskrit. Bila suatu ruang sample memiliki elemen dengan jumlah tak hingga disebut sebagai ruang sample kontinu. Suatu kejadian selalu merupakan subhimpunan (subset) dari ruang sample. Dengan demikian, suatu kejadian selalu mengandung satu titik sampel atau lebih (kecuali untuk kejadian yang tidak mungkin terjadi). Sehingga, peluang suatu kejadian tertentu selalu mengacu pada suatu ruang sampel tertentu.

II.2.3 Peluang

Peluang sebuah kejadian sembarang adalah proporsi perulangan kejadian yang diharapkan akan terjadi bila sebuah percobaan dilakukan dalam kondisi yang sama. Proses penentuan peluang sebuah kejadian sangat tergantung pada kondisi pelaksanaan percobaan dan ruang sample yang bersangkutan (Bhattacharyya, 1977). Setiap even (kejadian) memiliki peluang untuk terjadi dan peluang tersebut

didefinisikan dalam rentang 0 sampai 1. Bila sebuah kejadian berpeluang 0 maka kejadian tersebut tidak akan terjadi, sebaliknya bila sebuah kejadian berpeluang 1 maka kejadian tersebut akan terjadi. Selanjutnya, peluang tersebut dapat diterangkan dalam dua cara yaitu :

1. Bila suatu kejadian dapat terjadi N kali dengan suatu cara dan bila suatu kejadian dengan atribut A dapat terjadi dengan cara itu sebanyak

$$n \text{ kali maka peluang terjadinya } A \text{ adalah } P(A) = \frac{n}{N} \dots\dots\dots \text{II.1}$$

2. Bila dalam sebuah percobaan, terjadi kejadian dengan atribut A sebanyak n kali dari N kali percobaan dengan N sangat besar maka

$$\text{peluang kejadian } A \text{ adalah } P(A) = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{n}{N} \right) \dots\dots\dots \text{II.2}$$

II.2.4 Peubah Acak

Pada dasarnya, proses rekayasa sangat dipengaruhi oleh fenomena-fenomena yang acak. Berbagai hasil yang didapatkan dari fenomena tersebut dapat diidentifikasi secara numerik yaitu berupa nilai atau nilai-nilai suatu fungsi tertentu. Fungsi yang demikian dinamakan sebagai peubah acak (random variable).

Secara formal, peubah acak dapat dipandang sebagai suatu aturan yang memetakan kejadian-kejadian di ruang sampel ke suatu garis real. Sesuai dengan asal ruang sampelnya maka peubah acak dapat berupa peubah acak diskrit atau peubah acak kontinu.



A. Peubah Acak Diskrit.

Pada kasus yang terhingga, peubah acak X hanya akan berisi nilai diskrit x_1, x_2, \dots, x_n . Fungsi kerapatan peluang (atau disebut sebagai fungsi kerapatan) $f(x)$ didefinisikan sebagai :

$$f(x_i) = \text{peluang untuk } X = x_i \dots\dots\dots \text{II.3}$$

$$= P(X = x_i) \dots\dots\dots \text{II.4}$$

$$\equiv P(x_i) \dots\dots\dots \text{II.5}$$

Seperti dijelaskan di atas, ruang sampel diskrit hanya akan berisi elemen x_1 sampai x_n sehingga :

$$P(S) = \sum_i f(x_i) = \sum_i P(x_i) = 1 \dots\dots\dots \text{II.6}$$

Fungsi distribusi komulatif (atau disebut sebagai fungsi distribusi) $F(x)$ didefinisikan sebagai :

$$F(x_i) = P(X \leq x_i) \dots\dots\dots \text{II.7}$$

B. Peubah Acak Kontinu.

Fungsi distribusi $F(x)$ peubah acak kontinu didefinisikan sebagai :

$$P(x) = P(X \leq x) \dots\dots\dots \text{II.8}$$

Fungsi kerapatan $f(x)$ didefinisikan sebagai :

$$f(x) \equiv \frac{d}{dx} F(x) \dots\dots\dots \text{II.9}$$

Fungsi $f(x)$ akan memiliki arti secara fisik bila dilakukan integrasi pada interval tertentu, misalnya :

$$P(a \leq X \leq b) = \int_a^b f(x)dx = F(b) - F(a) \dots\dots\dots \text{II.10}$$

II.2.5 Momen Peubah Acak

Semua informasi yang dibutuhkan dari sebuah peubah acak dapat diperoleh dari fungsi kerapatan atau fungsi distribusi dari peubah acak yang bersangkutan. Dalam keperluan praktis, hanya diperlukan beberapa kuantitas numeris yang dibutuhkan untuk dapat menjelaskan karakteristik probabilitik suatu peubah acak. (Ramakumar, 1993). Kuantitas numeris ini dapat diperoleh dari momen distribusi. Momen ke-r sebuah peubah acak X didefinisikan sebagai :

$$m_r = \int_{-\infty}^{\infty} x^r f(x)dx \dots\dots\dots \text{II.11}$$

Momen pertama disebut sebagai rata-rata atau nilai harapan (expected value) didefinisikan sebagai :

$$E(X) = \int_{-\infty}^{\infty} x f(x)dx \equiv \mu \dots\dots\dots \text{II.12}$$

Dalam prakteknya, pendefinisian momen-momen distribusi dilakukan terhadap nilai rata-rata, sehingga :

$$m_r = E[(X - \mu)^r] \dots\dots\dots \text{II.13}$$

Momen kedua terhadap nilai rata-rata yaitu varian X didefinisikan sebagai :

$$m_2 = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu)^2 f(x)dx = V(X) = \text{var } X \dots\dots\dots \text{II.14}$$

Standard deviasi didefinisikan sebagai :

$$\sigma \equiv \sqrt{\text{var } X} \quad \dots\dots\dots \text{II.15}$$

Dan koefisien variasi (COV) didefinisikan sebagai :

$$\text{Cov}(X) = \frac{\sigma}{\mu} \quad \dots\dots\dots \text{II.16}$$

II.2.6 Momen dari Fungsi Peubah Acak.

Masalah dalam proses rekayasa kerap kali melibatkan penilaian hubungan fungsional antara suatu peubah yang tidak bebas (dependent variabel) dengan satu atau lebih peubah dasar penyusun (bebas). Bila satu atau beberapa peubah dasar penyusun ini adalah peubah acak maka peubah yang tidak bebas akan bersifat acak juga, sehingga distribusi peluang dan juga momen-momen distribusi peubah tidak bebas tersebut dapat diturunkan secara fungsional dari distribusi peluang peubah acak dasar (Ang, 1987).

Seringkali penurunan ini amat sulit untuk dilakukan, khususnya untuk fungsi-fungsi yang non-linier dan kadangkala informasi yang tersedia hanyalah nilai rata-rata dan varian saja. Untuk tujuan praktis, nilai rata-rata dan varian peubah acak ini telah mencukupi untuk dapat memperoleh momen-momen distribusi fungsi peubah acak. Momen-momen distribusi fungsi peubah acak secara fungsional dihubungkan dengan momen-momen distribusi dari setiap peubah acak dasar penyusun sehingga dapat diturunkan sebagai fungsi dari momen-momen distribusi peubah acak dasar penyusun.

Bila sebuah fungsi umum yang terbentuk dari n peubah acak diberikan dalam formulasi sebagai berikut :

$$Z = g(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \dots\dots\dots \text{II.17}$$

Dengan mengekspansikan $g(X)$ dalam sebuah deret Taylor terhadap harga rata-rata $\mu_{x_1}, \mu_{x_2}, \mu_{x_3}, \dots, \mu_{x_n}$ diperoleh :

$$\begin{aligned} Z = & g(\mu_{x_1}, \mu_{x_2}, \mu_{x_3}, \dots, \mu_{x_n}) + \sum_{i=1}^n (X_i - \mu_{x_i}) \\ & + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (X_i - \mu_{x_i})(X_j - \mu_{x_j}) \frac{\partial^2 g}{\partial X_i \partial X_j} + \dots \end{aligned} \dots\dots\dots \text{II.18}$$

Dengan memotong deret hingga suku-suku linier maka kita akan memperoleh nilai rata-rata dan varian aproksimasi orde pertama dari Z sebagai berikut :

$$E(Y) \cong g(\mu_{x_1}, \mu_{x_2}, \mu_{x_3}, \dots, \mu_{x_n}) \dots\dots\dots \text{II.19}$$

$$Var(Y) \cong \sum_{i=1}^n Var(X_i) \left(\frac{\partial g}{\partial X_i} \right)^2 + \sum_{i \neq j}^n \sum_{j=1}^n Cov(X_i, X_j) \frac{\partial g}{\partial X_i} \frac{\partial g}{\partial X_j} \dots\dots \text{II.20}$$

keterangan :

$$Cov(X_i, X_j) = \text{Kovarian antara } X_i \text{ dan } X_j.$$

Bila X_i dan X_j tidak berkorelasi atau bebas secara statistik maka persamaan II.20

diasas dapat diringkas menjadi :

$$Var(Y) \cong \sum_{i=1}^n Var(X_i) \left(\frac{\partial g}{\partial X_i} \right)^2 \dots\dots\dots \text{II.21}$$

II.3 ANALISA KEANDALAN STRUKTUR

II.3.1 Umum

Keandalan sebuah sistem struktural adalah kemampuan struktur tersebut untuk memenuhi tujuan perancangannya untuk satu periode waktu tertentu. Pada

umumnya, sistem struktural memiliki beberapa moda kegagalan sehingga untuk menentukan keandalan suatu sistem struktural hal ini perlu untuk dipertimbangkan.

Secara mendasar keandalan sebuah sistem struktural (\mathcal{R}) didefinisikan sebagai :

$$\mathcal{R} = 1 - P_f \quad \text{.....II.22}$$

P_f adalah peluang kegagalan sistem struktural untuk suatu periode waktu tertentu.

Pada kasus yang sangat sederhana, keandalan suatu sistem struktural ditentukan oleh dua peubah acak yang saling bebas secara statistik yaitu peubah acak efek-efek beban (S) dan peubah acak ketahanan/kekuatan struktur (R). Kriteria kegagalan sistem struktural ditentukan dengan suatu batas keamanan (safety margin) M yang didefinisikan sebagai :

$$M = R - S \quad \text{.....II.23}$$

Untu kasus diatas, sistem struktural mengalami kegagalan bila $M \leq 0$ atau $R - S \leq 0$, sehingga peluang kegagalan sistem struktural dapat didefinisikan sebagai :

$$P_f = P(M \leq 0) = P(R - S \leq 0) \quad \text{.....II.24}$$

Bila F_R adalah fungsi distribusi peubah acak kekuatan struktur dan f_S adalah fungsi kerapatan peubah acak efek beban maka :

$$P_f = P(R - S \leq 0) = \int_{-\infty}^{\infty} F_R(x) f_S(x) dx \quad \text{.....II.25}$$

sehingga keandalan sistem struktural dapat didefinisikan ulang sebagai :

$$\mathcal{R} = 1 - P_f = 1 - \int_{-\infty}^{\infty} F_R(x) f_S(x) dx \quad \text{.....II.26}$$

Bila R dan S terdistribusi normal maka karakter probabilistik M dapat didefinisikan sebagai :

$$\mu_M = \mu_R - \mu_S \dots\dots\dots \text{II.27}$$

dan

$$\sigma_M^2 = \sigma_R^2 + \sigma_S^2 \dots\dots\dots \text{II.28}$$

Indeks keandalan β dari sebuah sistem struktural didefinisikan sebagai :

$$\beta = \frac{\mu_M}{\sigma_M} \dots\dots\dots \text{II.29}$$

sehingga :

$$P_f = P(M \leq 0) = \Phi\left(\frac{0 - \mu_M}{\sigma_M}\right) = \Phi\left(\frac{\mu_S - \mu_R}{\sqrt{(\sigma_S^2 + \sigma_R^2)}}\right) \dots\dots\dots \text{II.30}$$

$$P_f = \Phi(-\beta) \dots\dots\dots \text{II.31}$$

$$\beta = -\Phi^{-1}(P_f) \dots\dots\dots \text{II.32}$$

keterangan :

Φ = fungsi distribusi normal standard.

Besaran kedua yang bisa didapatkan dari karakter probabilistik batas keamanan yaitu kekasaran pembebanan (loading roughness) LR yang secara fisik dapat diartikan sebagai derajat perbedaan antara variabilitas pembebanan dan variabilitas kekuatan suatu sistem yang ditinjau. Kekasaran pembebanan didefinisikan sebagai :

$$LR = \frac{\mu_S}{\sqrt{(\sigma_R^2 + \sigma_S^2)}} \dots\dots\dots \text{II.33}$$

Sistem struktural seringkali dibebani pada lingkungan yang relatif lebih ganas, yaitu variabilitas pembebanan terhadap struktur relatif lebih besar bila dibandingkan dengan variabilitas kekuatan sistem struktural tersebut.

II.3.2 Estimasi Keandalan Elemen Tunggal

Salah satu hal penting yang harus dilakukan pada analisa keandalan sistem struktural adalah penentuan moda kegagalan yang mungkin terjadi.

Untuk satu elemen struktural dari sebuah sistem struktural terdapat beberapa moda/bentuk kegagalan yang mengakibatkan elemen tersebut gagal, antara lain :

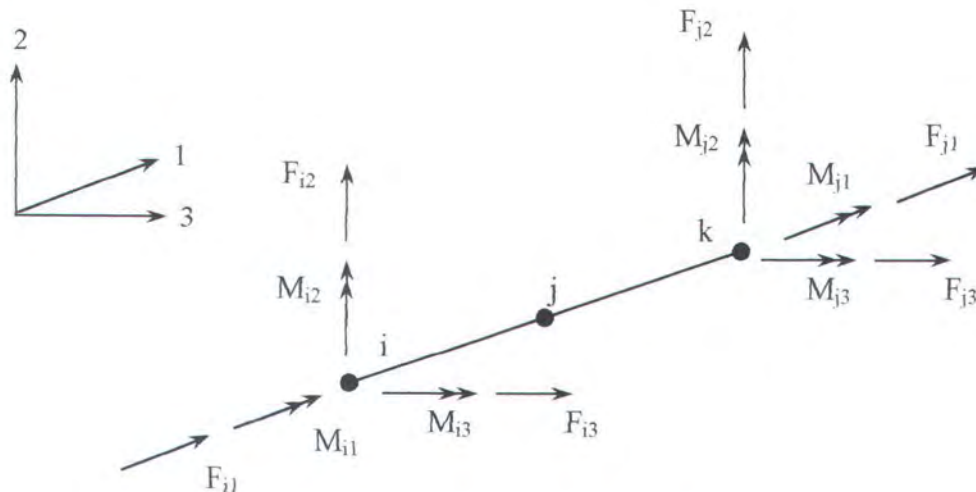
- Pembentukan engsel plastis pada titik i akibat momen bending 1-2
- Pembentukan engsel plastis pada titik k akibat momen bending 1-2
- Pembentukan engsel plastis pada titik i akibat momen bending 1-3
- Pembentukan engsel plastis pada titik k akibat momen bending 1-3
- Kegagalan pada titik j akibat gaya tarik atau kompresi
- Kegagalan pada titik j akibat torsi.

Untuk mempermudah pemahaman, titik j berada pada posisi tengah elemen walaupun dapat terjadi pada sembarang posisi di sepanjang batang. Ilustrasi secara lengkap dapat dilihat pada gambar II.1.

Elemen struktural yang dimodelkan sebagai space frame memiliki 6 (enam) elemen kegagalan yang terkait dengan beban aksial murni, beban bending murni atau beban torsi murni. Dalam hal ini efek-efek pembebanan akibat kombinasi pembebanan tidak diperhitungkan untuk mempermudah penyelesaian permasalahan. Pada setiap elemen kegagalan terdapat 2 (dua) bentuk kegagalan yaitu kegagalan tarik (tension) dan kegagalan tekan (compression). Kegagalan

tekan diakibatkan oleh gaya tekan atau momen bending negatif sebaliknya kegagalan tarik diakibatkan oleh gaya tarik atau momen bending positif.

Perjanjian tanda dan arah gaya dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar II. 1 Perjanjian tanda dan arah gaya

Sehingga dua batas keselamatan dan dua indeks keandalan yang terkait dengan kegagalan tekan dan tarik dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$M_i^+ = R_i^+ - S_i \quad \text{.....II.34}$$

$$M_i^- = R_i^- + S_i \quad \text{.....II.35}$$

$$\beta_i^+ = \frac{\mu M_i^+}{\sigma M_i^+} \quad \text{.....II.36}$$

$$\beta_i^- = \frac{\mu M_i^-}{\sigma M_i^-} \quad \text{.....II.37}$$

keterangan :

R_i^+ = peubah acak kapasitas/kekuatan tarik

R_i^- = peubah acak kapasitas/kekuatan tekan

S_i = efek-efek beban (gaya, momen bending atau torsi)

M_i^+ = batas keselamatan yang terkait dengan kegagalan tarik

M_i^- = batas keselamatan yang terkait dengan kegagalan tekan

β_i^+ = indeks keandalan yang terkait dengan kegagalan tarik

β_i^- = indeks keandalan yang terkait dengan kegagalan tekan

Dalam prakteknya salah satu indeks keandalan di atas berharga lebih kecil dari yang lain sehingga untuk mempermudah analisis, harga indeks keandalan untuk elemen kegagalan i diambil yang terkecil dari dua persamaan di atas, yaitu :

$$\beta_i = \min(\beta_i^+, \beta_i^-) \dots\dots\dots \text{II.38}$$

Batas keamanan dari elemen kegagalan i untuk indeks keandalan di atas diformulasikan sebagai :

$$M_i = \begin{cases} R_i^+ - S_i & \text{bila } \beta_i^+ \leq \beta_i^- \\ R_i^- - S_i & \text{bila } \beta_i^+ > \beta_i^- \end{cases} \dots\dots\dots \text{II.39}$$

Dalam kasus ini kriteria kegagalan adalah $M_i \leq 0$ sehingga :

$$\beta_i = \frac{\mu M_i}{\sigma M_i} \dots\dots\dots \text{II.40}$$

keterangan :

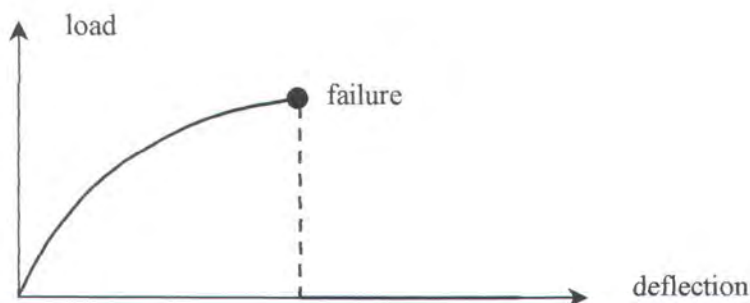
μM_i = nilai rata-rata dari batas keselamatan elemen kegagalan i

σM_i = standard deviasi dari batas keselamatan elemen kegagalan i

II.3.3 Perilaku Mekanis Elemen Struktural

Seperti telah dijelaskan di atas bahwa setiap elemen struktural terdiri dari beberapa elemen kegagalan sehingga untuk setiap elemen struktural dalam sebuah sistem struktural memiliki beberapa moda kegagalan. Keandalan satu elemen struktural tersebut akan sangat tergantung pada karakteristik mekanis elemen tersebut yaitu apakah elemen tersebut elemen getas (brittle) atau elemen ulet (ductile) atau memiliki sifat-sifat mekanis yang lain. Bagaimanapun, analisa keandalan lebih tertarik pada perilaku elemen kegagalan yang potensial daripada perilaku material penyusun elemen tersebut.

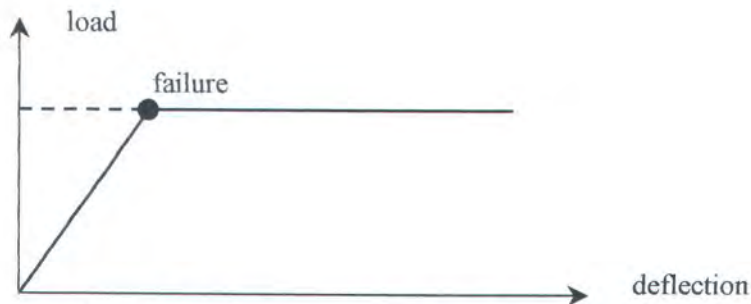
Dalam tugas akhir ini digunakan dua jenis elemen kegagalan yaitu elemen kegagalan yang getas sempurna (elemen getas) dan elemen kegagalan yang ulet sempurna (elemen ulet). Sebuah elemen kegagalan dikatakan getas sempurna bila elemen ini menjadi tidak efektif setelah mengalami kegagalan, yaitu kapasitas/kekuatan struktural elemen tersebut telah habis saat kegagalan terjadi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar II. 2 Elemen Kegagalan yang Getas Sempurna

Bila elemen kegagalan masih mampu mempertahankan kapasitas/kekuatan strukturalnya setelah kegagalan terjadi maka elemen kegagalan tersebut disebut

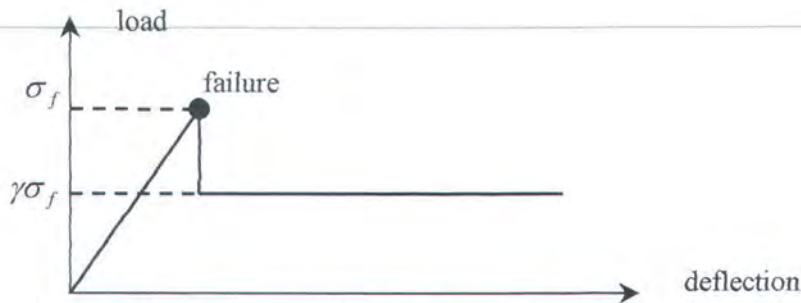
sebagai elemen ulet. Perilaku elemen ulet tersebut dijelaskan dalam gambar berikut :



Gambar II. 3 Elemen Kegagalan yang Ulet Sempurna

Kedua jenis elemen kegagalan di atas tidak dapat menjelaskan semua perilaku mekanis material (dalam hal ini kegagalan) akan tetapi pemodelan elemen struktural sangat diperlukan untuk mempermudah permasalahan.

Melchers dan Tang (Toft, 1986) mendefinisikan perilaku mekanis elemen kegagalan setelah kegagalan terjadi yaitu elastic-residual. Secara umum menjelaskan tentang kapasitas/kekuatan struktural yang tersisa setelah kegagalan terjadi. Kapasitas akhir ini dikaitkan dengan satu parameter γ yang berharga antara 0 sampai dengan 1. Dari definisi ini dapat disimpulkan bahwa bila elemen kegagalan memiliki nilai $\gamma = 0$ maka elemen kegagalan ini termasuk elemen getas dan bila $\gamma = 1$ maka elemen ini termasuk elemen ulet. Untuk lebih jelasnya dapat diamati pada gambar berikut ini.



Gambar II. 4 Perilaku Pasca Kegagalan sebuah Elemen Kegagalan

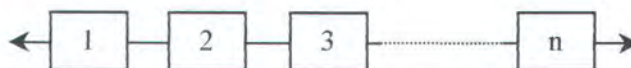
II.3.4 Sistem Fundamental

Sistem struktural seringkali tersusun atas beberapa elemen struktural penyusun sehingga interaksi kegagalan antara satu elemen struktural dengan elemen yang lain merupakan salah satu pokok bahasan yang perlu untuk diperhatikan dalam perancangan sistem struktural. Pada dasarnya, interaksi kegagalan masing-masing elemen dimodelkan dalam dua sistem yang berbeda, yaitu sistem seri dan sistem paralel.

Pemodelan interaksi kegagalan ini bertitik tumpu hanya pada kegagalan elemen struktural sehingga tidak mempengaruhi pemodelan aplikasi beban-beban eksternal terhadap struktur.

A. Sistem Seri

Dalam sistem seri, asumsi yang digunakan adalah kegagalan seluruh sistem struktural akan terjadi bila salah satu elemen penyusunnya mengalami kegagalan, sehingga sistem seri ini sering disebut sebagai *weakest-link system*. Analisa peluang kegagalan sistem seri dilakukan terhadap keterkaitan antara elemen-elemen kegagalan penyusun sistem seri.



Gambar II. 5 Sistem seri dengan n elemen kegagalan penyusun.

Bila suatu sistem seri tersusun atas n elemen kegagalan maka peluang kegagalan sistem seri didefinisikan sebagai :

$$P_{fs} = P\left(\bigcup_{i=1}^n \{M_i \leq 0\}\right) = 1 - \Phi(\bar{\beta}; \bar{\rho}) \dots\dots\dots \text{II.41}$$

keterangan :

$$\bar{\beta} = (\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_n)$$

= indeks keandalan masing-masing elemen kegagalan penyusun

$$\bar{\rho} = [\rho_{ij}]$$

= koefisien korelasi batas keamanan M_i

Perhitungan besarnya peluang sebuah sistem seri dapat menggunakan cara bound (batas) ataupun dengan metode integrasi yang dikemukakan oleh Donnet & Sobel, yaitu :

$$\Phi_n(\bar{x}; \bar{\rho}) = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(t) \prod_{i=1}^n \Phi\left(\frac{x_i - t\sqrt{\bar{\rho}}}{\sqrt{1 - \bar{\rho}}}\right) dt \dots\dots\dots \text{II.42}$$

dengan

$$\varphi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}t^2\right) \dots\dots\dots \text{II.43}$$

$$\bar{x} = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \dots\dots\dots \text{II.44}$$

$$\bar{\rho} = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i,j=1, i \neq j}^n \rho_{ij} \dots\dots\dots \text{II.45}$$

Bila secara umum komponen-komponen sistem seri tersebut terkorelasi sempurna atau $\rho_{ij} \approx 1$ maka nilai peluang kegagalan sistem seri P_{fs} dapat dihitung dengan formulasi sebagai berikut :

$$P_{fs} \geq \max_{i=1,n} P(F_i) \dots\dots\dots \text{II.46}$$

keterangan :

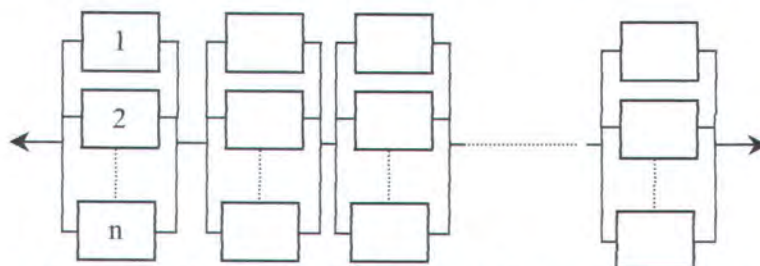
F_i = Kejadian kegagalan elemen kegagalan i.

Sementara itu bila komponen-komponen sistem seri tersebut hampir tidak terkorelasi atau $\rho_{ij} \approx 0$ maka nilai peluang kegagalan sistem seri P_{fs} dapat diaproksimasi dengan formulasi :

$$P_{fs} \geq 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P(F_i)) \dots\dots\dots \text{II.47}$$

B. Sistem Paralel

Dalam kenyataannya, beberapa sistem struktural akan mengalami kegagalan bila beberapa elemen struktural penyusunnya mengalami kegagalan dengan membentuk suatu formasi (urutan) tertentu yang sering disebut sebagai mekanisme keruntuhan. Setiap mekanisme keruntuhan yang mungkin terjadi dimodelkan dengan membentuk sistem paralel. Komponen penyusun sistem paralel adalah elemen kegagalan sesuai dengan urutan kejadiannya dalam mekanisme keruntuhan.



Gambar II. 6 Sistem paralel dengan n elemen kegagalan penyusun.

Untuk suatu sistem paralel tersusun atas n elemen kegagalan maka peluang kegagalan sistem paralel didefinisikan sebagai :

$$P_{ip} = P\left(\bigcap_{i=1}^n \{M_i \leq 0\}\right) = \Phi(-\bar{\beta}; \bar{\rho}) \dots\dots\dots \text{II.48}$$



BAB III
Metode β Unzipping

BAB III

METODE β UNZIPPING

III.1 KONSEP DASAR

Pada analisa keandalan konvensional kegagalan sistem struktural diasumsikan terjadi bila salah satu elemen kegagalan mengalami kegagalan sehingga untuk struktur dengan derajat redudansi yang cukup tinggi dirasakan terlalu konservatif. Untuk itu diperlukan pemahaman lebih lanjut tentang perilaku kegagalan sistem struktural dan membawanya sebagai informasi tambahan dalam analisa keandalan.

Metode β Unzipping adalah metode yang menitik beratkan pada pemahaman tingkat keandalan suatu struktur sebagai suatu sistem. Mekanisme keruntuhan adalah acuan utama dalam menentukan tingkat keandalan suatu struktur.

Suatu struktur biasanya memiliki beberapa mekanisme keruntuhan yang mungkin akan terjadi dan setiap mekanisme keruntuhan mungkin terdiri dari lebih dari satu elemen kegagalan. Setiap mekanisme keruntuhan yang mungkin terjadi dimodelkan dengan sistem paralel dengan . Kegagalan pada sistem struktural akan terjadi bila mekanisme keruntuhan dengan peluang kegagalan terbesar terjadi sehingga untuk dapat menganalisa peluang kegagalan sistem struktural setiap mekanisme keruntuhan tersebut dimodelkan dalam sistem seri. Hal inilah yang menjadi dasar pemikiran dalam metode β Unzipping.

III.2 PEMBENTUKAN BATAS KEAMANAN

Dari persamaan II.23 pada Bab II, batas keamanan suatu elemen kegagalan i dapat didefinisikan sebagai :

$$M_i = R_i - S_i \dots\dots\dots\text{III.1}$$

Pada tugas akhir ini telah ditentukan 5 (lima) moda kegagalan untuk setiap elemen struktural yaitu :

- Kegagalan aksial
- Pembentukan engsel plastis pada titik i akibat bending bidang 1-2
- Pembentukan engsel plastis pada titik k akibat bending bidang 1-2
- Pembentukan engsel plastis pada titik i akibat bending bidang 1-3
- Pembentukan engsel plastis pada titik k akibat bending bidang 1-3

Sehingga untuk setiap elemen struktural dapat dibentuk sebuah elemen kegagalan yang terkait dengan masing-masing moda kegagalan diatas, antara lain :

- Elemen kegagalan aksial
- Elemen kegagalan bending bidang 1-2 pada titik i
- Elemen kegagalan bending bidang 1-2 pada titik k
- Elemen kegagalan bending bidang 1-3 pada titik i
- Elemen kegagalan bending bidang 1-3 pada titik k

Selanjutnya untuk setiap masing-masing elemen kegagalan dapat disusun satu batas keamanan.

III.2.1 Kapasitas Elemen Kegagalan

Secara umum dapat kapasitas elemen kegagalan i (R_i) dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$R_i = f(\sigma_{all}, A, S_{22}, S_{33}) \dots\dots\dots \text{III.2}$$

keterangan :

σ_{all} = Tegangan yield ijin

A = Luas penampang

S_{22} = Section Modulus untuk sumbu 22

S_{33} = Section Modulus untuk sumbu 33

Sehingga dari persamaan dapat diturunkan kapasitas untuk elemen kegagalan aksial, sebagai berikut :

$$R_{aksial i} = \sigma_{all} * A \dots\dots\dots \text{III.3}$$

dari persamaan II.21 pada halaman II-9 didapatkan :

$$Var(R_{aksial i}) = (A)^2 * Var(\sigma_{all}) + (\sigma_{all})^2 * Var(A) \dots\dots\dots \text{III.4}$$

Demikian juga dengan elemen kegagalan bending pada sumbu 22 dan 33 didapatkan dengan cara yang sama, yaitu :

$$R_{bending22 i} = \sigma_{all} * S_{22} \dots\dots\dots \text{III.5}$$

$$Var(R_{bending22 i}) = (S_{22})^2 * Var(\sigma_{all}) + (\sigma_{all})^2 * Var(S_{22}) \dots\dots\dots \text{III.6}$$

$$R_{bending33 i} = \sigma_{all} * S_{33} \dots\dots\dots \text{III.7}$$

$$Var(R_{bending33 i}) = (S_{33})^2 * Var(\sigma_{all}) + (\sigma_{all})^2 * Var(S_{33}) \dots\dots\dots \text{III.8}$$

III.2.2 Efek-Efek Pembebanan

Langkah terpenting yang harus dilakukan dalam analisa keandalan dengan metode β Unzipping adalah perhitungan koefisien pengaruh untuk setiap gaya dan momen yang diaplikasikan pada struktur. Bila untuk suatu sistem struktural diaplikasikan k gaya ataupun momen maka efek-efek pembebanan S_i untuk setiap elemen kegagalan dapat didefinisikan sebagai :

$$S_i = \sum_{j=1}^k a_{ij} P_j \dots\dots\dots \text{III.9}$$

keterangan :

a_{ij} : Koefisien pengaruh untuk setiap gaya pada setiap elemen kegagalan

P_j : Beban yang diaplikasikan pada sistem struktural.

Koefisien pengaruh diatas didapatkan dengan cara melakukan analisa struktur statis dengan gaya satuan sesuai dengan arah dan banyaknya gaya yang diaplikasikan pada struktur.

III.3 ANALISA PADA LEVEL 0

Pada level 0 keandalan seluruh sistem struktural diasumsikan sama dengan keandalan satu elemen kegagalan. Konsep inilah yang dianggap terlalu konservatif bila diaplikasikan pada sistem struktural dengan derajat redudansi yang cukup tinggi.

Pada level ini interaksi antara elemen kegagalan yang satu dengan yang lain diabaikan dan tidak diperhitungkan dalam perhitungan keandalan sistem. Bila suatu sistem struktural terdiri dari n elemen kegagalan dan masing-masing elemen

kegagalan memiliki indeks keandalan β maka indeks keandalan sistem struktural β_s didefinisikan sebagai:

$$\beta_s = \min_{i=1,n} \beta_i \dots\dots\dots \text{III.10}$$

Walaupun demikian analisa pada level 0 adalah analisa yang sangat penting, karena pada level ini bisa diketahui seberapa banyak elemen kegagalan yang indeks keandalannya mendekati nilai bmin sehingga dapat dipakai sebagai acuan untuk menentukan lebar interval pemilihan elemen kegagalan pada level selanjutnya.

III.4 ANALISA PADA LEVEL 1

Pada level 1 setiap kegagalan yang mungkin terjadi pada suatu sistem struktural dapat diakomodasi dengan memodelkan sistem struktural tersebut kedalam sistem seri dengan elemen kegagalan sebagai komponen sistem seri tersebut. Asumsi dasar yang digunakan dalam analisa pada level satu adalah kegagalan suatu elemen kegagalan adalah kegagalan seluruh sistem struktural.

Peluang kegagalan sistem seri tersebut dihitung berdasarkan indeks keandalan masing-masing elemen kegagalan dan korelasi antara elemen kegagalan yang satu dengan yang lain. Akurasi perhitungan peluang kegagalan sistem seri tersebut sangat dipengaruhi oleh indeks keandalan masing-masing elemen kegagalan sebagai komponennya sehingga hanya elemen-elemen kegagalan dengan harga indeks keandalan yang rendah yang diikutsertakan dalam perhitungan.

Pemilihan elemen kegagalan menggunakan suatu interval indeks keandalan yang didefinisikan sebagai :

$$\beta_{\min} \leq \beta_i < \beta_{\min} + \Delta\beta_1 \dots\dots\dots \text{III.11}$$

keterangan :

$$\beta_{\min} = \min_{i=1,n} \beta_i \dots\dots\dots \text{III.12}$$

$$\Delta\beta_1 = \text{Konstanta lebar interval indeks keandalan level 1}$$

Selanjutnya setiap elemen yang terpilih disebut sebagai *elemen kegagalan kritis*. Perhitungan besarnya peluang kegagalan sistem seri dapat dilakukan dengan persamaan II.41 - II.44 yang telah dijelaskan pada bab II.

III.5 ANALISA PADA LEVEL 2

Pada level 2, sistem struktural diasumsikan akan mengalami keruntuhan setelah 2 (dua) elemen kegagalan mengalami kegagalan. Untuk mendapatkan kedua elemen tersebut sistem struktural dimodifikasi dengan mengasumsikan kegagalan elemen kegagalan kritis yang didapatkan pada level 1. Bila elemen kegagalan kritis tersebut diasumsikan bersifat ulet maka pada sistem struktural ditambahkan sebuah gaya fiktif yang besarnya sesuai dengan kapasitas elemen kegagalan kritis tersebut. Bila elemen kegagalan kritis bersifat getas maka tidak perlu dilakukan penambahan gaya fiktif. Kemudian sistem struktural dianalisa kembali dan indeks keandalan baru untuk masing-masing elemen kegagalan didapatkan dan dilakukan pemilihan dengan menggunakan interval indeks keandalan yang baru.

Bila m adalah level analisa, maka formulasi berikut dapat dipakai untuk menentukan interval indeks keandalan :

$$\beta_{\min m} \leq \beta_{im} < \beta_{\min m} + \Delta\beta_m \dots\dots\dots \text{III.13}$$

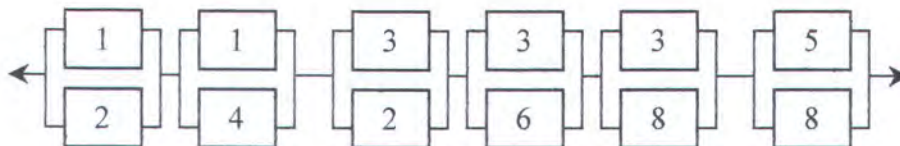
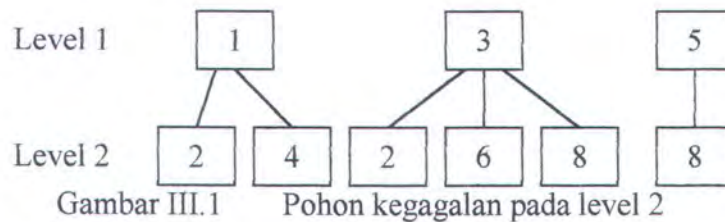
keterangan :

$$\beta_{\min m} = \min_{i=1,n} \beta_{i m} \dots\dots\dots \text{III.14}$$

$$\Delta\beta_m = \frac{\Delta\beta_1}{(m+1)^2} \dots\dots\dots \text{III.15}$$

m = Level analisa keandalan

$\Delta\beta_1$ = Konstanta lebar interval indeks keandalan level 1



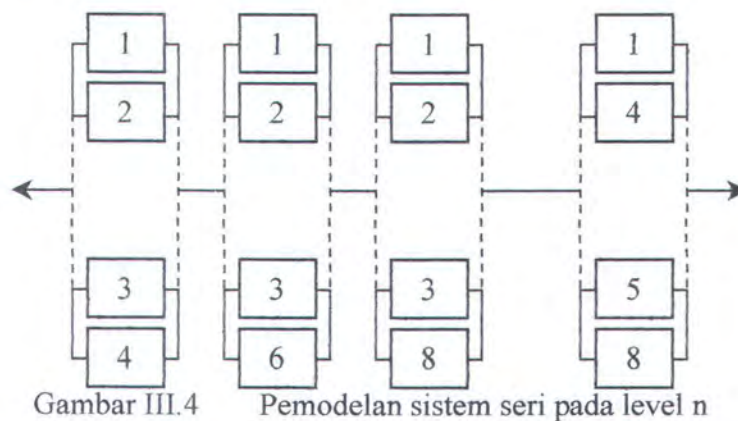
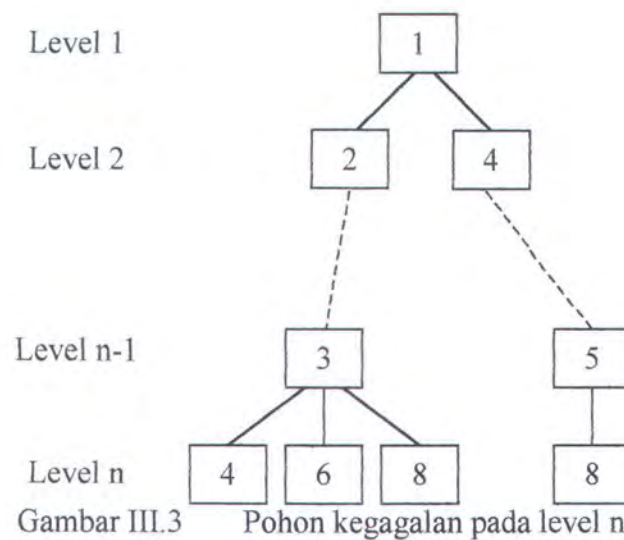
III.6 ANALISA PADA LEVEL n

Pada analisa keandalan level ke- n , sistem struktural diasumsikan mengalami kegagalan setelah n elemen kegagalan mengalami kegagalan atau dengan kata lain mekanisme keruntuhan sistem struktural terdiri dari n elemen kegagalan. Setiap mekanisme keruntuhan yang mungkin terjadi dimodelkan dalam suatu sistem paralel. Peluang terjadinya suatu mekanisme keruntuhan atau peluang kegagalan sistem struktural akibat suatu mekanisme keruntuhan dapat diketahui dari peluang kegagalan sistem paralel tersebut.

Biasanya suatu sistem struktural akan runtuh dalam banyak cara sehingga memiliki beberapa mekanisme keruntuhan. Untuk sistem struktural dengan m

mekanisme keruntuhan, peluang kegagalan sistem dapat dihitung dengan memanfaatkan pemodelan sistem seri dengan m komponen penyusun berupa sistem paralel yang terkait dengan suatu mekanisme keruntuhan.

Pemilihan elemen kegagalan tetap menggunakan metode yang telah dijelaskan pada analisa level 2 dan diteruskan sampai terpilih n elemen kegagalan dan kemudian dibentuk satu sistem paralel sebagai model mekanisme keruntuhan untuk n elemen kegagalan yang terpilih. Untuk lebih jelasnya dapat diamati dua gambar berikut ini.



III.7 ANALISA PADA LEVEL MEKANISME KERUNTUHAN

Perbedaan utama dan mendasar pada analisa level ini adalah tidak digunakannya lagi sebuah asumsi untuk menentukan suatu (tingkat) mekanisme keruntuhan sebuah sistem struktural. Mekanisme keruntuhan baru dapat diketahui bila metode pencarian elemen kegagalan pada level 2 diteruskan dan matriks kekakuan struktur keseluruhan akhirnya bersifat singular, atau dapat diformulasikan sebagai :

$$|K_{Total}| = 0 \dots\dots\dots \text{III.16}$$

Dari setiap mekanisme keruntuhan yang telah terbentuk, kemudian disusun satu sistem paralel sebagai pemodelan mekanisme keruntuhan yang telah ditemukan.



BAB IV

Perhitungan dan Analisa

BAB IV

PERHITUNGAN DAN ANALISA

IV.1 PROGRAM KOMPUTER

Sampai saat ini belum ditemukan di pasaran adanya satu paket aplikasi program komputer yang dapat melakukan analisa keandalan β Unzipping sehingga dibuatlah satu paket aplikasi program komputer yang disebut sebagai Beta Unzipper.

Beta Unzipper disusun dengan Inprise Delphi Release 5.0 dan sepenuhnya memanfaatkan teknologi OOP (Object Oriented Programming) untuk memudahkan operasi perhitungan yang dilakukan dan pemeriksaan masing-masing tahapan perhitungan.

Beta Unzipper dibagi dalam tiga modul besar yaitu modul dasar, modul analisa statis struktur dan modul analisa keandalan dengan β Unzipping. Salah satu rutin terpenting pada modul dasar adalah operasi penyimpanan data-data struktural dan data-data analisa β unzipping dalam setiap iterasi. Modul analisa statis struktur dilengkapi dengan Metode Eliminasi Gauss dan penentuan determinan matriks kekakuan secara keseluruhan menggunakan Metode Dekomposisi. Modul analisa keandalan dengan β Unzipping dilengkapi dengan rutin pemilihan elemen kegagalan sehingga analisa keandalan dapat dilakukan pada berbagai level. Walaupun demikian, Beta Unzipper belum dilengkapi dengan penghenti iterasi berupa pemeriksaan singulariti matriks kekakuan sehingga pemeriksaan keruntuhan sistem struktural perlu dilakukan secara manual dengan melihat harga indeks keandalan.

Selain itu Beta Unzipper dilengkapi satu rutin section properties calculator untuk membantu memasukkan input pada data-data struktural.

IV.2 DATA STRUKTUR

Dalam tugas akhir ini telah disiapkan sebuah bangunan lepas pantai sebagai sistem struktural yang akan dianalisa keandalannya. Konfigurasi bangunan lepas pantai tersebut telah mengalami beberapa penyederhanaan untuk memudahkan analisa serta proses pemodelan yang akan dilakukan.

Data detil mengenai bangunan tersebut dapat dilihat pada Lampiran A dan berikut ini beberapa data yang terkait dengan perhitungan yang akan dilakukan.

Tabel IV. 1 Data-data Umum

Code Name	KLYA
Type	Fixed Offshore Structure
Jumlah Kaki	3 kaki
Kedalaman Perairan	47 feet (14.3256 m)
Aplikasi Beban	3,5 10^6 Newton
Jenis Bracing	Diagonal
Material Pipa	ASTM A-53 Grade B atau API 5L Grade B

Tabel IV. 2 Konfigurasi Cross Section

Jenis Member	Radius (m)	Ketebalan (m)
Leg	0.4318	0.0127
Brace Diagonal	0.2032	0.0127
Brace Horizontal	0.1524	0.0127

Dari API RP-2A, Section I Material, Tabel I.3, didapatkan :

Tabel IV. 3 Yield Strength dari API

Specification & Grade	Yield Strength	
	Mpa	Ksi
ASTM 5L Grade B	240	35
API 5L Grade B	240	35

Kemudian dari Mechanics of Materials, EP Popov, 1976 didapatkan :

Tabel IV. 4 Konfigurasi Cross Section

Modulus Elastisitas Tekan (E)	$210 \cdot 10^9$ Pa
Modulus Elastisitas Geser (G)	$168 \cdot 10^9$ Pa

Dari Tabel IV.3 dan IV.4 kemudian dimasukkan sebagai data material pada Beta Unzipper, seperti gambar tampilan berikut ini :

Gambar IV. 1 Tampilan Input Material Properties pada Beta Unzipper

Selanjutnya data pada Tabel IV.2 ditambah dengan toleransi dimensi material pipa sebesar 1%, menjadi :

Tabel IV. 5 Konfigurasi Cross Section disertai Toleransi

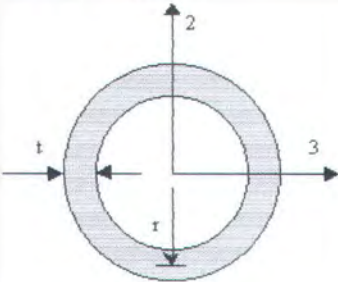
Jenis Member	Radius (m)		Ketebalan (m)	
	Mean	Std. Deviasi	Mean	Std. Deviasi
Leg	0.4318	0.004318	0.0127	0.000127
Brace Diagonal	0.2032	0.002032	0.0127	0.000127
Brace Horizontal	0.1524	0.001524	0.0127	0.000127

Kemudian besaran-besaran pada Tabel IV.5 masing-masing dimasukkan dalam Section Calculator pada Beta Unzipper dan data-data untuk input Section Properties didapatkan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut :

Section Calculator

Please select according to your Cross Section Type

Cylinder Pipe **Box**



	Mean Value	Standard Deviation
Radius (r) :	0.4318	0.004318
Thickness (t) :	0.01270	0.0001270

Compute

Computed Properties

	Mean Value	Standard Deviation
A :	0.0344561085786298	0.0004872829605849
J :	0.0064243841700601	0.0021927763936467
I22 :	0.0032121920850300	0.0001015784327066
I33 :	0.0032121920850300	0.0001015784327066
S22 :	0.0074390738421261	0.0001663427480063
S33 :	0.0074390738421261	0.0001663427480063

Transfer to Active Section

Clear All

Close

Gambar IV. 2 Tampilan Section Calculator pada Beta Unzipper

Selanjutnya data-data section properties tersebut dapat ditransfer secara manual maupun secara otomatis dengan memanfaatkan Database Management pada Beta Unzipper. Berikut ini contoh tampilan input untuk section properties :

FormStrucSection

Name : SecLeg IDNumber : 1 IDInc : 1

Properties Values

	Mean Value	Standard Deviation
A :	0.0344561085786298	0.0004872829605849
J :	0.0064243841700601	0.0021927769936467
I22 :	0.0032121920850300	0.0001015784327066
I33 :	0.0032121920850300	0.0001015784327066
S22 :	0.0074390738421261	0.0001663427480063
S33 :	0.0074390738421261	0.0001663427480063

Post Failure Behavior
☐ Brittle ☒ Ductile

Fictitious Load Factor
 0.5

Associate Material
 Material1

Section Calculator

First Prior Next Last OK Cancel

Gambar IV. 3 Tampilan Input Section Properties pada Beta Unzipper

Selanjutnya untuk dapat melihat kecenderungan besarnya Indeks Keandalan dan Peluang Kegagalan Sistem, data-data dari Tabel IV.5 dikurangi ketebalannya secara bertahap dengan prosentase sebesar 5%, 10% dan 15 %. Berikut ini tabulasi konfigurasi yang dianalisa :

Tabel IV. 6 Tabulasi Konfigurasi

Konfigurasi	Prosentase Pengurangan
I	0
II	5
III	10
IV	15

Data-data section properties untuk setiap konfigurasi diatas dapat dilihat pada Lampiran B.

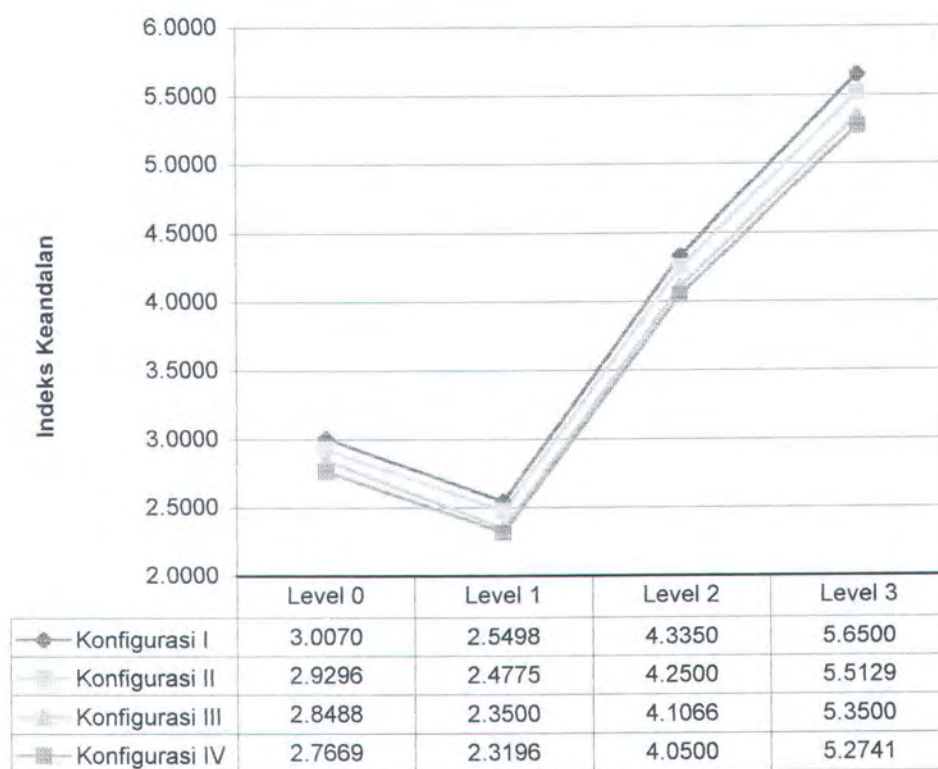
IV.3 HASIL RUNNING BETA UNZIPPER

Analisa keandalan yang dilakukan untuk keempat data tersebut hanya sampai pada level 3, hal ini disebabkan keterbatasan hardware komputer yang digunakan untuk melakukan running Beta Unzipper.

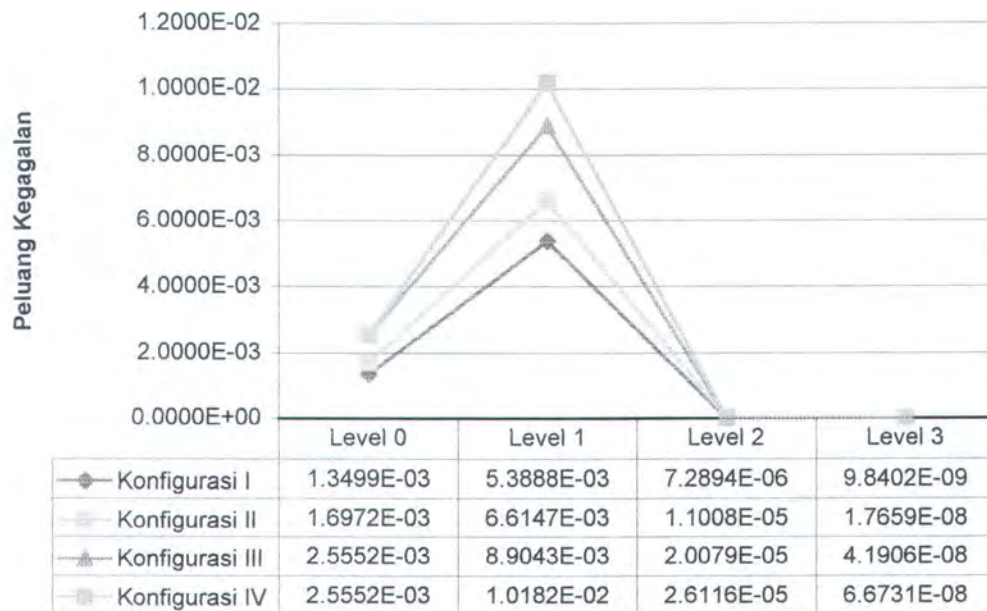
Tabel IV. 7 Hasil Running Konfigurasi I

$\Delta\beta = 0.015$		
Level	Indeks Keandalan (β)	Peluang Kegagalan (P_f)
0	3.0070	$1.3499 \cdot 10^{-3}$
1	2.5498	$5.3888 \cdot 10^{-3}$
2	4.3350	$7.2894 \cdot 10^{-6}$
3	5.6500	$9.8402 \cdot 10^{-9}$

Selanjutnya hasil-hasil running Beta Unzipper untuk konfigurasi yang lain dapat dilihat pada Lampiran B. Berikut ini rangkuman dari hasil running Beta Unzipper untuk seluruh konfigurasi :



Gambar IV. 4 Indeks Keandalan vs Level Analisa



Gambar IV. 5 Peluang Kegagalan vs Level Analisa

IV.4 ANALISA

Secara umum kecenderungan indeks keandalan (β) dan peluang kegagalan (Pf) dari keempat Konfigurasi diatas telah sesuai dengan perkiraan awal, hal ini didukung beberapa alasan, yaitu :

- Untuk setiap konfigurasi, indeks keandalan pada level 1 mengalami penurunan yang cukup besar bila dibandingkan dengan indeks keandalan pada level 0. Demikian juga peluang kegagalan pada level 1 mengalami kenaikan bila dibandingkan dengan peluang kegagalan pada level 0. Hal ini disebabkan oleh beberapa hal, antara lain:
 - ✓ Pada level 0, indeks keandalan sistem hanya ditentukan oleh satu elemen kegagalan yang memiliki indeks keandalan terkecil sedangkan pada level

- 1, indeks keandalan sistem ditentukan oleh beberapa elemen kegagalan dengan indeks keandalan yang berbeda-beda.
- ✓ Diabaikannya interaksi antar elemen kegagalan pada level 0 dan diperhitungkannya hal ini pada level 1.
 - Untuk setiap konfigurasi, indeks keandalan sistem pada level 2 dan level 3 mengalami kenaikan bila dibandingkan dengan indeks keandalan pada level 1. Demikian halnya dengan peluang kegagalan yang mengalami penurunan pada level analisa yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh :
 - ✓ Pada level 1, komponen sistem paralel hanya 1 (satu) elemen kegagalan sehingga indeks keandalan dan peluang kegagalan sistem paralel ditentukan oleh satu elemen kegagalan juga.
 - ✓ Indeks keandalan dan peluang kegagalan sistem paralel ditentukan oleh indeks keandalan dan peluang kegagalan masing-masing komponen penyusunnya dan korelasi antara komponen penyusun sistem paralel yang satu dengan yang lain (dalam satu sistem paralel yang sama). Pada level analisa yang lebih tinggi dari level 1 dalam hal ini level 2 dan 3, sistem paralel memiliki komponen lebih dari satu (untuk level 2 memiliki 2 komponen, untuk level 3 memiliki 3 komponen) dengan indeks keandalan dan peluang kegagalan yang tidak sama.
 - ✓ Semakin tinggi level analisa yang dilakukan maka semakin banyak komponen penyusun sistem paralel sehingga indeks keandalan dan peluang kegagalan sistem cenderung mendekati nilai yang aman.
 - Secara umum indeks keandalan sistem yang didapatkan masih sangat besar (nilai minimum pada konfigurasi IV level 0) sehingga peluang kegagalan

sistem juga sangat kecil (nilai maksimum pada konfigurasi III dan IV pada level 0). Jadi masih bisa dilakukan beberapa optimasi konfigurasi struktur secara menyeluruh sehingga secara ekonomis lebih hemat biaya.

- Bila dilihat secara lebih seksama pada komponen penyusun sistem paralel setiap konfigurasi tidak mengalami perubahan, hanya bersarnya indeks keandalan dan peluang kegagalan tiap elemen kegagalan yang berubah. Hal ini disebabkan oleh keseragaman pengurangan ketebalan pada masing-masing jenis member (leg, brace diagonal dan brace horisontal) sehingga distribusi kapasitas/kekuatan pada masing-masing konfigurasi relatif sama.
- Nilai indeks keandalan semakin mengecil dengan bertambahnya pengurangan ketebalan masing-masing member demikian juga dengan peluang kegagalannya bertambah besar sebanding dengan bertambahnya pengurangan ketebalan member.



BAB V

Kesimpulan dan Saran Pengembangan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN PENGEMBANGAN

V.1 KESIMPULAN

Selama umur operasi, unjuk kerja BLP dipengaruhi oleh beberapa faktor yang belum dapat ditentukan atau diketahui secara pasti, salah satunya adalah kekuatan BLP. Walaupun karakter fisik sebuah material konstruksi telah dapat dijelaskan secara statistik dengan baik, akan tetapi masih banyak dipengaruhi oleh gejala-gejala dengan variasi yang cukup lebar. Hal inilah penyebab utama penggunaan faktor keamanan (safety factor) dan adopsi nilai-nilai pesimistik dalam perancangan BLP. Hasil akhir analisa keandalan adalah diketahuinya peluang kegagalan suatu sistem; suatu besaran yang lebih rasional dibandingkan dengan faktor keamanan. Walaupun demikian, tujuan analisa keandalan bukanlah untuk menentukan peluang kegagalan secara eksak akan tetapi mengakomodasi beberapa aspek yang diabaikan dalam analisa deterministik.

Konsep analisa keandalan konvensional mengasumsikan kegagalan satu komponen adalah kegagalan sistem. Konsep ini terlalu konservatif untuk struktur berderajat redundansi tinggi. Sementara itu, jumlah moda kegagalan sistem struktural biasanya sangat banyak sehingga peluang kegagalan sistem tidak mungkin dihitung secara eksak. Dengan metode β Unzipping moda kegagalan yang dominan dapat ditentukan dan peluang kegagalan sistem dapat dihitung dari moda kegagalan yang terpilih.

Sebuah studi kasus telah dilakukan terhadap 4 (empat) konfigurasi BLP untuk dapat melihat kecenderungan indeks keandalan dan peluang kegagalan sebuah sistem. Keempat konfigurasi BLP diatas dikembangkan dari 1 (satu) konfigurasi BLP yang mengalami penipisan ketebalan dinding silinder. Prosentase penipisan ketebalan dinding silinder konfigurasi I, II, III dan IV adalah 0%, 5%, 10% dan 15%.

Dari analisa hasil diketahui bahwa konfigurasi I memiliki β tertinggi dengan Pf terendah pada setiap level analisa. Konfigurasi II, III dan IV menyusul pada urutan kedua, tiga dan empat setelah konfigurasi I. Pada level 1 yang mengasumsikan mekanisme keruntuhan terdiri dari satu elemen kegagalan didapatkan hasil berupa: untuk konfigurasi I didapatkan β sebesar 2.5498 dengan Pf sebesar $5.3888 \cdot 10^{-3}$, sedangkan untuk konfigurasi II didapatkan β sebesar 2.4775 dengan Pf sebesar $6.6147 \cdot 10^{-3}$, untuk konfigurasi III didapatkan β sebesar 2.3500 dengan Pf sebesar $8.9043 \cdot 10^{-3}$ dan terakhir untuk konfigurasi IV didapatkan β sebesar 2.3196 dengan Pf sebesar $1.0182 \cdot 10^{-2}$. Hal ini menunjukkan bahwa pengurangan ketebalan dinding silinder member sebanding penurunan indeks keandalan sistem dan berbanding terbalik dengan penambahan peluang kegagalan sistem struktural.

Selanjutnya, peningkatan level analisa yaitu penambahan jumlah fenomena kegagalan elemen mengakibatkan penambahan nilai β dan pengecilan nilai Pf. Pengamatan dimulai pada level 1, tidak pada level 0 karena pada level 0 masih dianggap sebagai analisa keandalan konvensional. Bila diamati pada konfigurasi IV, pada level 1 didapatkan β sebesar 2.3196 dengan Pf sebesar $1.0182 \cdot 10^{-2}$ sementara itu pada level 2 yang mengasumsikan bahwa mekanisme keruntuhan

terdiri dari 2 (dua) fenomena kegagalan didapatkan β sebesar 4.0500 dengan Pf sebesar $2.6116 \cdot 10^{-5}$. Pada level 3 dengan asumsi bahwa mekanisme keruntuhan terdiri dari 3 (tiga) fenomena kegagalan elemen didapatkan β sebesar 5.2741 dengan Pf sebesar $6.6731 \cdot 10^{-8}$. Dari sini dapat disimpulkan bahwa peningkatan/penambahan harga indeks keandalan sebanding dengan penambahan/peningkatan level analisa yang dilakukan. Demikian juga dengan peluang kegagalan, penambahan level analisa mengakibatkan penurunan peluang kegagalan sistem.

Akomodasi mekanisme keruntuhan sistem struktural dalam analisa keandalan berakibat pada bertambahnya nilai indeks keandalan sistem sehingga struktur yang dihasilkan dengan level analisa yang lebih tinggi akan menghasilkan sistem struktural yang lebih optimistik dan lebih ekonomis.

V.2 SARAN PENGEMBANGAN

- ✓ Kecepatan running program masih perlu ditingkatkan lagi sehingga dapat digunakan untuk menganalisa permasalahan yang lebih kompleks lagi.
- ✓ Perlunya ditambahkan calculator beban gelombang, sehingga dapat digunakan untuk menganalisa pengaruh variasi beban gelombang terhadap keandalan sistem.
- ✓ Pembentukan elemen kegagalan torsional perlu ditambahkan untuk meningkatkan ruang lingkup program, sehingga dapat digunakan pada sistem struktural lain selain bangunan lepas pantai.

DAFTAR PUSTAKA

1. Palle Toft – Christensen, Yoshisada Murotsu, 1986. *Application of Structural Systems Reliability Theory*, Springer Verlag.
2. R. Ramakumar, 1993. *Engineering Reliability : Fundamentals and Applications*, Prentice Hall International, Inc.
3. PDT O'Connor, 1991. *Practical Reliability Engineering*, John Wiley & Sons.
4. GK Bhattacharyya, RA Johnson, 1977. *Statistical Concepts and Methods*, John Wiley & Sons.
5. RE Walpole, RH Myers, 1986. *Ilmu Peluang dan Statistika untuk Insinyur dan Ilmuwan*, Penerbit ITB.
6. Al Bouma, Vrounwenvender MT, 1979. *Probabilistic Concept Analysis*, Journal Boss '79.
7. JM Planeix, 1979. *Are The Offshore Structures over-designed? Relative influence of environmental parameters*, Journal Boss '79.
8. F Moses, 1991. *System Reliability Applications to Offshore Structure Design and Inspection*, Probabilistic Mechanics.
9. Lowell FG, et. al., 1991. *Propagation of Uncertainty Levels*, Probabilistic Mechanics.
10. Kaisheng Chen, Shengkun Zhang, 1996. *Semi Probabilistic Method for Evaluating System Redudancy of Existing Offshore Structure*, Ocean Engineering, Vol. 23, No. 6, pp. 445 – 464.
11. Ch J Vos, BJG Van der Pot, JK Vrijing, 1979. *Future Safety Considerations A Matter of Scarcity and Probabilistic Approach*, Journal Boss '79.

12. AHS Ang, Tang WH, 1986. *Probabilistic Concept in Engineering and Planning Design*.
13. American Petroleum Institut, 1993. RP2A – LRFD, *Planning , Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms – Load and Resistance Factor Design*.
14. American Institute of Steel Construction. *Standard MILL Practice, Steel pipe and tubing, Dimensions and Weight Tolerances, Round Tubing and Pipe*.
15. Thomas H. Dawson, 1983. *Offshore Structural Engineering*, Prentice Hall International Inc.
16. A Ghali, AM Neville, Ir Wira MSCE, 1990. *Analisa Struktur, Gabungan metode Klasik dan Matriks*, Edisi Kedua, Penerbit Erlangga.
17. Nicholas Willems, William M Lucas, Jr, 1968. *Matrix Analysis for Structural Engineers*, Prentice Hall International Inc.
18. EP Popov, 1976. *Mechanics of Materials*, 2nd Edition, Prentice Hall Inc.
19. LL Bhirud. *Matrix Operation on the Computer*, Oxford & IBH Publishing Co.
20. DR Suprajitno Munadi, 1990. *Perhitungan Matriks dengan Fortran*, Penerbit Andi Offset Yogyakarta.



Lampiran

L a m p i r a n



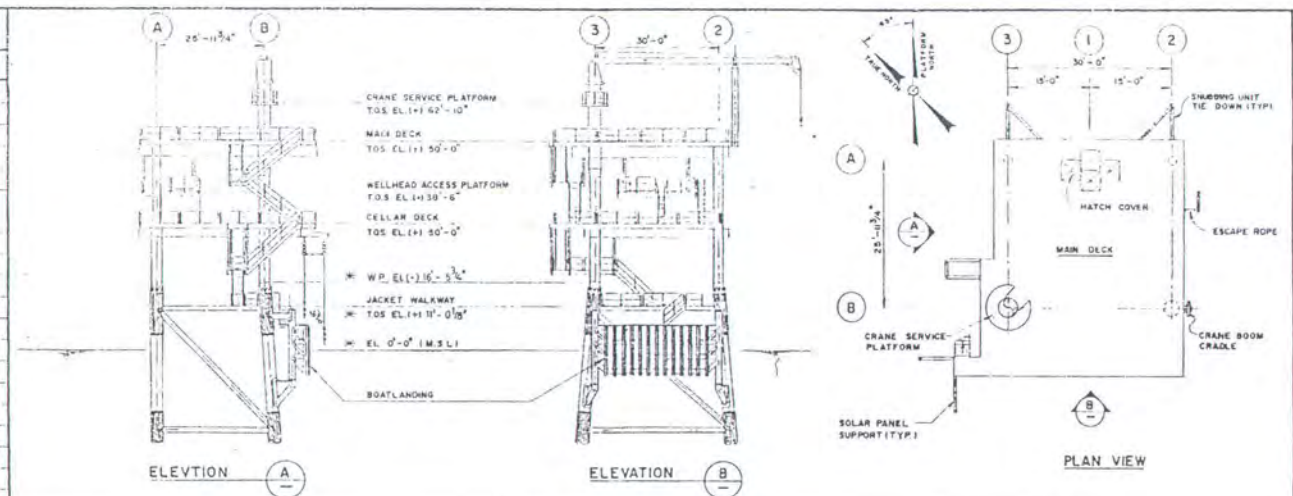
MILIK PERPUSTAKAAN
ITS



LAMPIRAN A

Data struktur untuk Studi Kasus

DECK DRAWING INDEX		
DRAWING NO.	REV.	TITLE
KLYA-SD-001	4	DECK COVER SHEET
-SD-200	6	MAIN DECK FRAMING PLAN
-SD-201	7	CELLAR DECK FRAMING PLAN
-SD-203	4	DECK ELEVATION ROWS "A" & "B"
-SD-204	3	DECK ELEVATION ROWS "2" & "3"
-SD-206	3	DECK ELEVATION DETAILS SHEET 1 OF 2
-SD-207	2	DECK ELEVATION DETAILS SHEET 2 OF 2
-SD-208	3	DECK SECTIONS & DETAILS SHT. 1 OF 3
-SD-209	2	DECK SECTIONS & DETAILS SHT. 2 OF 3
-SD-210	4	DECK SECTIONS & DETAILS SHT. 3 OF 3
-SD-211	5	MAIN DECK PLATE & HANDRAIL LAYOUT
-SD-212	7	CELLAR DECK GRATING & HANDRAIL LAYOUT
-SD-213	1	HANDRAIL DETAILS
-SD-214	1	DECK DRAIN GUTTER & DRIP PAN DETAILS
-SD-215	1	MAIN DECK PENETRATION DETAILS
-SD-216	2	CELLAR DECK PENETRATION DETAILS
-SD-218	2	HATCH COVER DETAILS
-SD-219	3	LATERAL CONDUCTOR SUPPORT DETAILS
-SD-220	7	W.H. ACCESS PLATFORM PLANS & ELEVATIONS
-SD-221	7	W.H. ACCESS PLATFORM SECTIONS & DETAILS
-SD-225	4	TEST SEPARATOR ACCESS PLATFORM DETAILS
-SD-228	2	CRANE SERVICE PLATFORM DETAILS
-SD-229	2	CRANE BOOM CRADLE DETAILS
-SD-230	2	ESCAPE ROPE & SWING ROPE DETAILS
-SD-232	3	FLOW ELEMENT ACCESS PLATFORM DETAILS
-SD-234	2	PIG RECEIVER ACCESS PLATFORM DETAILS
-SD-240	3	STAIRWAY PLAN, ELEVATION & DETAILS
-SD-241	2	STAIRWAY PLAN & SECTIONS
-SD-242	1	STAIRWAY SECTIONS & DETAILS
-SD-245	4	DECK LIFTING PAD EYES
-SD-247	2	DECK LEG STABBING GUIDE & TRANSITION PIECE DETAILS
KLYA-SD-255	2	NAME PLATE DETAILS



- ### GENERAL NOTES
- UNLESS NOTED OTHERWISE, ALL STEEL SHALL BE ASTM A-53 GRADE B OR A.P.I. 5L GRADE B FOR PIPES AND ASTM A-36 FOR STEEL PLATES, SHAPES AND BARS.
 - ALL WELDING PROCEDURES TO COMPLY WITH AWS-D1-90 UNLESS SUPERSEDED BY ARII GENERAL SPECIFICATIONS ARII-SS-102
 - ALL WELDS TO BE FULL PENETRATION UNLESS NOTED OTHERWISE.
 - PAINTING TO BE IN ACCORDANCE WITH SPEC. ARII-GS-264
 - ALL GRATINGS SHALL BE ACCURATELY FABRICATED INCLUDING CUT OUTS AND SHAPING. ALL EDGES SHALL BE FRAMED WITH FLAT BARS.
 - ALL GRATINGS SHALL BE 1 x 3/16 GALVANIZED SERRATED BAR UNLESS NOTED OTHERWISE.

ESTIMATED WEIGHTS

DECK STEEL	137.0 ST.
DECK LIFT	231.5 ST.

ALL DECK ELEVATIONS TO BE 2'-0" HIGHER THAN AS SHOWN ON THIS DRAWING EXCEPT FOR ELEVATIONS MARKED *

DESIGN CRITERIA

I. DECK AREA DESIGN LOAD:

INCLUDES EQUIPMENT, PIPING & LIVE LOADS

1. OPERATING CONDITION:

- MAIN DECK AREA LOAD (PSF)

2. STORM/SEISMIC CONDITION:

- MAIN DECK AREA LOAD (PSF)

III. CRANE LOAD:

	OPERATING	STORM/SEISMIC
VERTICAL LOAD	166 K	50 K
MOMENT	2033 K.FT.	-
TWIST	-	-

IV. SEISMIC

BASED ON DAMES & MOORE REPORT TITLED: "SEISMIC RISK AND SITE RESPONSE STUDY ARJUNA FIELD, INDONESIA" DATED MARCH 1990 WITH ADDENDUM.

THE FOLLOWING MEAN PEAK ACCELERATIONS HAVE BEEN USED FOR ZONE II:

- STRENGTH LEVEL EARTHQUAKE = 0.130 G
- DUCTILITY LEVEL EARTHQUAKE = 0.231 G

V. WIND LOAD

	OPERATING	STORM
WIND SPEED	48 MPH	80 MPH

VI. SEPARATOR LOADS:

FLOOR BEAM DESIGN LOADS

- A. VERTICAL LOAD: 38.0 K @ SKIRT
- B. HORIZONTAL LOAD: BASED ON PRIMARY HORIZONTAL SEISMIC ACCELERATION OF 0.6 G

CERTIFIED AS-BUILT

BY: *[Signature]*
DATE: 16 Dec 93

APPROVALS

DESIGNER	DATE	APPROVED	DATE
<i>[Signature]</i>	10/1/93	<i>[Signature]</i>	10/1/93
CONTRACTOR	DATE	APPROVED	DATE
<i>[Signature]</i>	10/1/93	<i>[Signature]</i>	10/1/93

ENGINEERING APPROVAL

DESIGNER	DATE	APPROVED	DATE
<i>[Signature]</i>	10/1/93	<i>[Signature]</i>	10/1/93
CONTRACTOR	DATE	APPROVED	DATE
<i>[Signature]</i>	10/1/93	<i>[Signature]</i>	10/1/93

SCALE

NONE

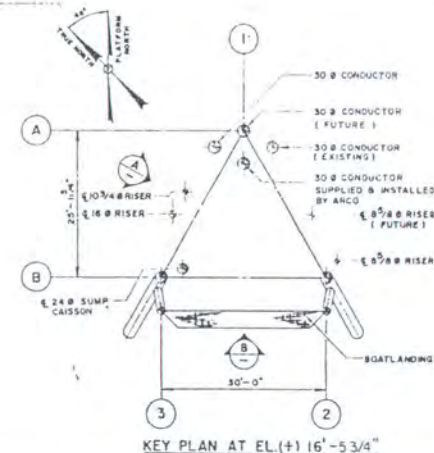
PROJECT NO.

KLYA-SD-001

REVISION

NO.	DATE	DESCRIPTION
1	10/1/93	ISSUED FOR CONSTRUCTION
2	10/1/93	REVISION
3	10/1/93	REVISION
4	10/1/93	REVISION
5	10/1/93	REVISION

DRAWING NO.	REV.	TITLE
KLYA - SD - 060	4	JACKET COVER SHEET
- SD - 010	1	LOCATION PLAN
- SD - 100	1	JACKET ELEVATIONS "A", "B" & "C"
- SD - 101	2	HORIZONTAL FRAMING PLANS
- SD - 107	1	TYPICAL WELDING DETAILS
- SD - 109	2	JACKET WALKWAY & HANDRAIL LAYOUT
- SD - 110	1	JACKET WALKWAY DETAILS
- SD - 112	2	CONDUCTOR GUIDE DETAILS SHEET 1 OF 2
- SD - 113	2	CONDUCTOR GUIDE DETAILS SHEET 2 OF 2
- SD - 115	1	MUDMAT DETAILS
- SD - 118	2	JACKET AND PILE CONNECTION DETAILS
- SD - 120	3	PILE MAKE-UP & DETAILS
- SD - 121	5	CONDUCTOR MAKE -UP & DETAILS
- SD - 125	5	RISER CLAMP DETAILS
- SD - 130	1	CATHODIC PROTECTION
- SD - 133	1	SUMP CAISSON DETAILS
- SD - 134	3	SUMP CAISSON NOZZLE DETAILS
- SD - 135	3	JACKET LIFTING PADEYES
- SD - 141	2	BOATLANDING PLANS, ELEVATION & DETAILS
KLYA - SD - 142	3	BOATLANDING SECTIONS & DETAILS



DESIGN CRITERIA

1. ALL STEEL MATERIALS TO BE ASTM A-53 GRADE B OR API 5L GRADE B FOR PIPES AND ASTM A-36 FOR STEEL PLATES, SHAPES AND BARS EXCEPT - JACKET LEG JOINT CANS (ALL SHOWN THRU ~~WELDS~~) ON DWGS. I SHALL BE API 2H, GR 50 WITH SUPPLEMENTARY REQUIREMENTS S-1, S-3, S-4 AND S-5
2. ALL WELDING PROCEDURES TO COMPLY WITH AWS-D1-S UNLESS SUPERSEDED BY API GENERAL SPECIFICATIONS API-SS-102.
3. ALL WELDS TO BE FULL PENETRATION UNLESS NOTED OTHERWISE.
4. PAINTING TO BE IN ACCORDANCE WITH SPEC. API-SS-264
5. UNLESS NOTED OTHERWISE, ALL GRATINGS SHALL BE 1 x 3/8 GALVANIZED SERRATED BAR.

III. CORROSION PROTECTION

1. WAVE CURRENT AND WIND
- DESIGN ENVIRONMENTAL CRITERIA IS BASED ON A.H.GLENN REPORT TITLED: "100 AND 1 YEAR STORM WIND, TIDE, WAVE AND CURRENT CHARACTERISTICS AND WAVE- CURRENT FORCES AND 10 YEAR DIRECTIONAL WAVE HEIGHT DISTRIBUTION AND ASSOCIATED WAVE PERIODS: APPROXIMATELY 5°24'45" S, 107°29'06" E, 70.0 FOOT CHART DEPTH, OFFSHORE NORTHWEST JAVA, JAVA SEA" DATED MAY 11, 1998
- | | STORM | OPERATING |
|--------------------------|------------|------------|
| MAX. WAVE HEIGHT | 28.3 FT | 16.7 FT |
| WAVE PERIOD | 9.4 SEC | 7.1 SEC |
| TOTAL TIDE | 4.6 FT | 4.3 FT |
| CURRENT AT SURFACE | 4.0 FT/SEC | 3.0 FT/SEC |
| CURRENT AT MUDLINE | 1.0 FT/SEC | 0.8 FT/SEC |
| MAX WIND (1 MINUTE MEAN) | 80 MPH | 48 MPH |
- MINIMUM DESIGN FATIGUE LIFE IS 20 YEARS

1. 1/8" ON MAIN STRUCTURAL MEMBERS IN THE SPLASH ZONE.
2. MINIMUM SACRIFICIAL ANODES DESIGN LIFE IS 10 YEARS.

IV. RISERS

THIS STRUCTURE IS DESIGNED TO SUPPORT
THE FOLLOWING RISERS:

TWO (2) 8" \times 8" RISER ON PLATFORM EAST
ONE (1) 10" \times 10" RISER ON PLATFORM WEST
ONE (1) 16" RISER ON PLATFORM WEST

V. SUPERSTRUCTURE LOADING

REFER TO DWG. NO. KLYA-SD-001

JACKET	87.5 S.T.
PILES	115.6 S.T.
CONDUCTORS	37.6 S.T.
BOATLANDING	26.4 S.T.
NAV - AID PLATFORM	NOT TO BE FABRICATED
SUMP CAISSON	4.4 S.T.
	271.5 S.T.

ANODES (a) 529 LBS - TOTAL * 15	4.0 S.T.
---------------------------------	----------

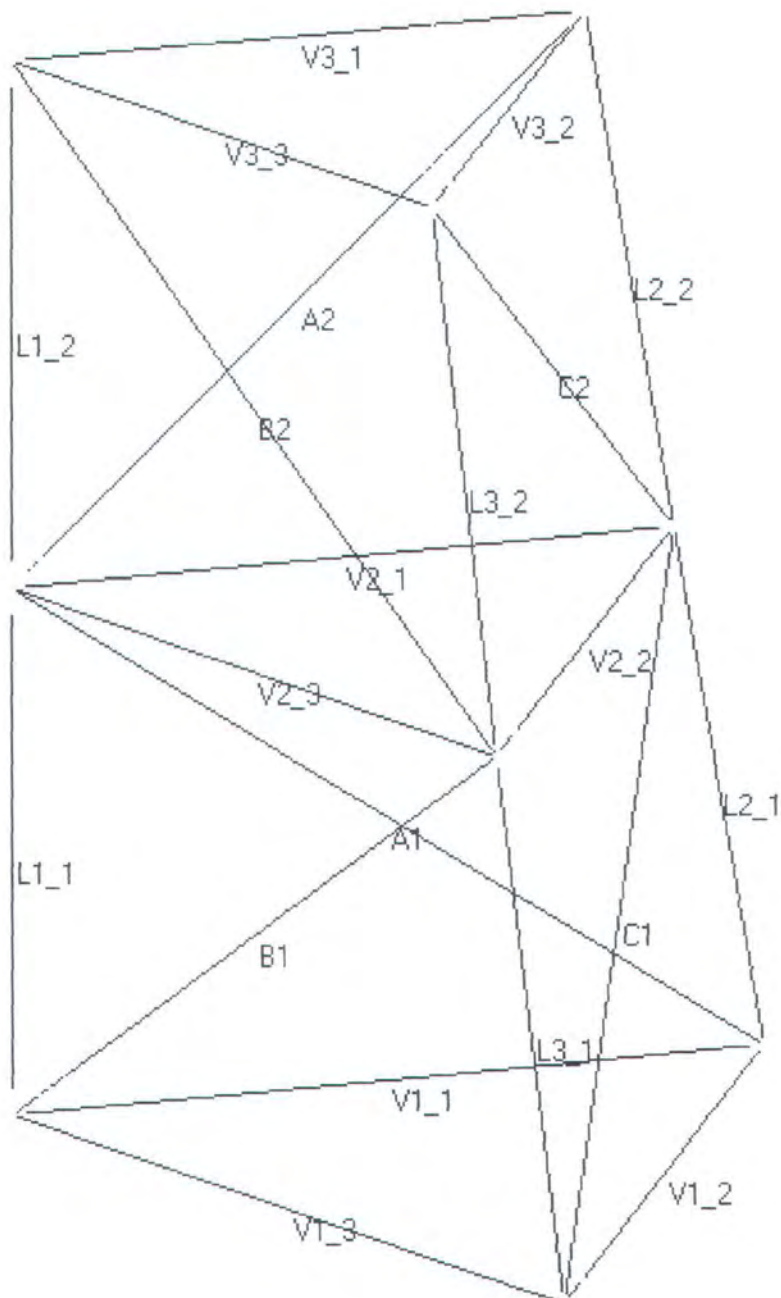
[illegible]



LAMPIRAN B

Hasil analisa 4 konfigurasi dengan Beta Unzipper

PEMODELAN STRUKTUR



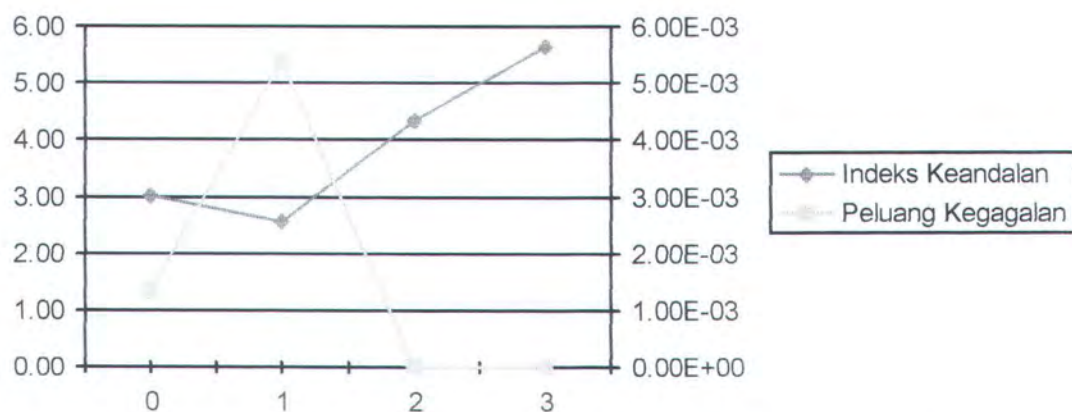
KONFIGURASI I

Tabel B - 1 Cross Section Properties

Jenis Member	Radius (m)		Ketebalan (m)	
	Mean	Std. Deviasi	Mean	Std. Deviasi
Leg	0.4318	0.004318	0.0127	0.000127
Brace Diagonal	0.2032	0.002032	0.0127	0.000127
Brace Horizontal	0.1524	0.001524	0.0127	0.000127

Tabel B - 2 Hasil Running

$\Delta\beta = 0.015$		
Level	Indeks Keandalan (β)	Peluang Kegagalan (P_f)
0	3.0070	$1.3499 \cdot 10^{-3}$
1	2.5498	$5.3888 \cdot 10^{-3}$
2	4.3350	$7.2894 \cdot 10^{-6}$
3	5.6500	$9.8402 \cdot 10^{-9}$



Gambar B-1 Indeks Keandalan dan Peluang Kegagalan per Level

FormZipLayer			
Max Level : 0			
Beta : 3.0070			
Pf : 1.3499E-003			
Type : Bending 2 i Beta : 3.0070 Pf : 1.3499E-003 Elemen : V3_3	Type : Bending 2 j Beta : 3.0100 Pf : 1.3499E-003 Elemen : V3_3	Type : Bending 3 j Beta : 3.0198 Pf : 1.3499E-003 Elemen : V3_2	Type : Bending 3 i Beta : 3.0198 Pf : 1.3499E-003 Elemen : V3_2

Gambar B-2 Hasil Analisa Konfigurasi I pada Level 0

FormZipLayer			
Max Level : 1			
Beta : 2.5498			
Pf : 5.3888E-003			
Beta Paralel 3.0070 Pf Paralel 1.3499E-003	Beta Paralel 3.0100 Pf Paralel 1.3499E-003	Beta Paralel 3.0198 Pf Paralel 1.3499E-003	Beta Paralel 3.0198 Pf Paralel 1.3499E-003
Type : Bending 2 i Beta : 3.0070 Pf : 1.3499E-003 Elemen : V3_3	Type : Bending 2 j Beta : 3.0100 Pf : 1.3499E-003 Elemen : V3_3	Type : Bending 3 j Beta : 3.0198 Pf : 1.3499E-003 Elemen : V3_2	Type : Bending 3 i Beta : 3.0198 Pf : 1.3499E-003 Elemen : V3_2

Gambar B-3 Hasil Analisa Konfigurasi I pada Level 1

FormZipLayer			
Max Level : 2			
Beta : 4.3350			
Pf : 7.2894E-006			
Beta Paralel 4.6500 Pf Paralel 1.8223E-006	Beta Paralel 4.6500 Pf Paralel 1.8223E-006	Beta Paralel 4.6500 Pf Paralel 1.8223E-006	Beta Paralel 4.6500 Pf Paralel 1.8223E-006
Type : Bending 2 i Beta : 3.0070 Pf : 1.3499E-003 Elemen : V3_3	Type : Bending 2 j Beta : 3.0100 Pf : 1.3499E-003 Elemen : V3_3	Type : Bending 3 j Beta : 3.0198 Pf : 1.3499E-003 Elemen : V3_2	Type : Bending 3 i Beta : 3.0198 Pf : 1.3499E-003 Elemen : V3_2
Type : Bending 3 j Beta : 3.0197 Pf : 1.3499E-003 Elemen : V3_2	Type : Bending 3 j Beta : 3.0197 Pf : 1.3499E-003 Elemen : V3_2	Type : Bending 2 i Beta : 3.0069 Pf : 1.3499E-003 Elemen : V3_3	Type : Bending 2 i Beta : 3.0069 Pf : 1.3499E-003 Elemen : V3_3

Gambar B-4 Hasil Analisa Konfigurasi I pada Level 2

FormZiplayer			
Max Level : 3			
Beta : 5.6500			
Pf : 9.8402E-009			
Beta Paralel 5.8500 Pf Paralel 2.4601E-009	Beta Paralel 5.8500 Pf Paralel 2.4601E-009	Beta Paralel 5.8500 Pf Paralel 2.4601E-009	Beta Paralel 5.8500 Pf Paralel 2.4601E-009
Type : Bending 2 i Beta : 3.0070 Pf : 1.3499E-003 Elemen : V3_3	Type : Bending 2 j Beta : 3.0100 Pf : 1.3499E-003 Elemen : V3_3	Type : Bending 3 i Beta : 3.0198 Pf : 1.3499E-003 Elemen : V3_2	Type : Bending 3 i Beta : 3.0198 Pf : 1.3499E-003 Elemen : V3_2
Type : Bending 3 j Beta : 3.0197 Pf : 1.3499E-003 Elemen : V3_2	Type : Bending 3 j Beta : 3.0197 Pf : 1.3499E-003 Elemen : V3_2	Type : Bending 2 i Beta : 3.0069 Pf : 1.3499E-003 Elemen : V3_3	Type : Bending 2 i Beta : 3.0069 Pf : 1.3499E-003 Elemen : V3_3
Type : Bending 3 i Beta : 3.0217 Pf : 1.3499E-003 Elemen : V3_3	Type : Bending 3 i Beta : 3.0218 Pf : 1.3499E-003 Elemen : V3_3	Type : Bending 3 i Beta : 3.0217 Pf : 1.3499E-003 Elemen : V3_3	Type : Bending 3 i Beta : 3.0234 Pf : 1.3499E-003 Elemen : V3_3

Gambar B-5 Hasil Analisa Konfigurasi I pada Level 3

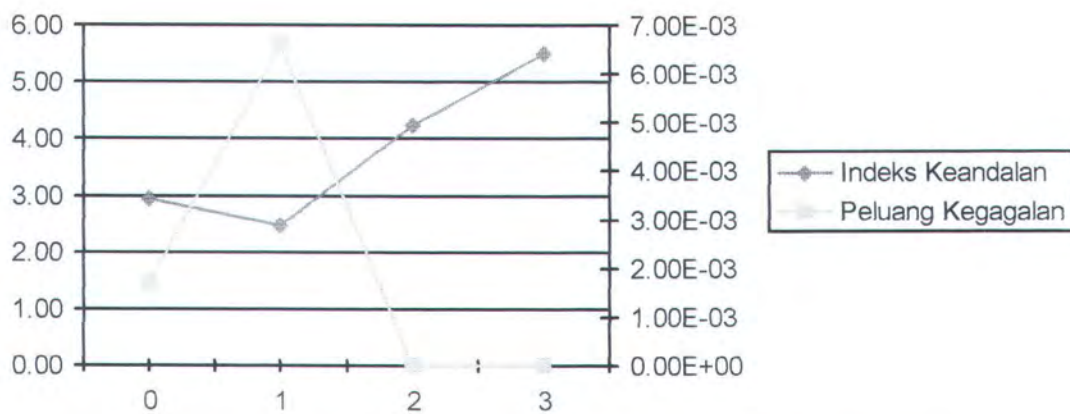
KONFIGURASI II

Tabel B - 3 Cross Section Properties

Jenis Member	Radius (m)		Ketebalan (m)	
	Mean	Std. Deviasi	Mean	Std. Deviasi
Leg	0.4318	0.004318	0.01207	0.0001207
Brace Diagonal	0.2032	0.002032	0.01207	0.0001207
Brace Horizontal	0.1524	0.001524	0.01207	0.0001207

Tabel B - 4 Hasil Running

$\Delta\beta = 0.015$		
Level	Indeks Keandalan (β)	Peluang Kegagalan (P_f)
0	2.9296	$1.6972 \cdot 10^{-3}$
1	2.4775	$6.6147 \cdot 10^{-3}$
2	4.2500	$1.1008 \cdot 10^{-5}$
3	5.5129	$1.7659 \cdot 10^{-8}$



Gambar B-6 Indeks Keandalan dan Peluang Kegagalan per Level

FormZipLayer			
Max Level : 0			
Beta : 2.9296			
Pf : 1.6972E-003			
Type : Bending 2 i	Type : Bending 2 j	Type : Bending 3 i	Type : Bending 3 j
Beta : 2.9296	Beta : 2.9327	Beta : 2.9427	Beta : 2.9427
Pf : 1.6972E-003	Pf : 1.6802E-003	Pf : 1.6270E-003	Pf : 1.6268E-003
Elemen : V3_3	Elemen : V3_3	Elemen : V3_2	Elemen : V3_2

Gambar B-7 Hasil Analisa Konfigurasi II pada Level 0

FormZipLayer			
Max Level : 1			
Beta : 2.4775			
Pf : 6.6147E-003			
Beta Paralel 2.9296 Pf Paralel 1.6972E-003	Beta Paralel 2.9327 Pf Paralel 1.6802E-003	Beta Paralel 2.9427 Pf Paralel 1.6270E-003	Beta Paralel 2.9427 Pf Paralel 1.6268E-003
Type : Bending 2 i	Type : Bending 2 j	Type : Bending 3 i	Type : Bending 3 j
Beta : 2.9296	Beta : 2.9327	Beta : 2.9427	Beta : 2.9427
Pf : 1.6972E-003	Pf : 1.6802E-003	Pf : 1.6270E-003	Pf : 1.6268E-003
Elemen : V3_3	Elemen : V3_3	Elemen : V3_2	Elemen : V3_2

Gambar B-8 Hasil Analisa Konfigurasi II pada Level 1

FormZipLayer			
Max Level : 2			
Beta : 4.2500			
Pf : 1.1008E-005			
Beta Paralel 4.5441 Pf Paralel 2.7590E-006	Beta Paralel 4.5462 Pf Paralel 2.7315E-006	Beta Paralel 4.5441 Pf Paralel 2.7588E-006	Beta Paralel 4.5442 Pf Paralel 2.7585E-006
Type : Bending 2 i	Type : Bending 2 j	Type : Bending 3 i	Type : Bending 3 j
Beta : 2.9296	Beta : 2.9327	Beta : 2.9427	Beta : 2.9427
Pf : 1.6972E-003	Pf : 1.6802E-003	Pf : 1.6270E-003	Pf : 1.6268E-003
Elemen : V3_3	Elemen : V3_3	Elemen : V3_2	Elemen : V3_2
Type : Bending 3 j	Type : Bending 3 i	Type : Bending 2 i	Type : Bending 2 j
Beta : 2.9426	Beta : 2.9426	Beta : 2.9295	Beta : 2.9295
Pf : 1.6275E-003	Pf : 1.6272E-003	Pf : 1.6976E-003	Pf : 1.6976E-003
Elemen : V3_2	Elemen : V3_2	Elemen : V3_3	Elemen : V3_3

Gambar B-9 Hasil Analisa Konfigurasi II pada Level 2



FormZipLayer			
Max Level : 3			
Beta : 5.5129			
Pf : 1.7659E-008			
Beta Paralel 5.7500 Pf Paralel 4.4434E-009	Beta Paralel 5.7500 Pf Paralel 4.4029E-009	Beta Paralel 5.7500 Pf Paralel 4.4425E-009	Beta Paralel 5.7500 Pf Paralel 4.3705E-009
Type : Bending 2 i Beta : 2.9296 Pf : 1.6972E-003 Elemen : V3_3	Type : Bending 2 j Beta : 2.9327 Pf : 1.6802E-003 Elemen : V3_3	Type : Bending 3 j Beta : 2.9427 Pf : 1.6270E-003 Elemen : V3_2	Type : Bending 3 i Beta : 2.9427 Pf : 1.6268E-003 Elemen : V3_2
Type : Bending 3 j Beta : 2.9426 Pf : 1.6275E-003 Elemen : V3_2	Type : Bending 3 j Beta : 2.9426 Pf : 1.6272E-003 Elemen : V3_2	Type : Bending 2 i Beta : 2.9295 Pf : 1.6976E-003 Elemen : V3_3	Type : Bending 2 i Beta : 2.9295 Pf : 1.6976E-003 Elemen : V3_3
Type : Bending 3 i Beta : 2.9447 Pf : 1.6165E-003 Elemen : V3_3	Type : Bending 3 i Beta : 2.9447 Pf : 1.6163E-003 Elemen : V3_3	Type : Bending 3 i Beta : 2.9447 Pf : 1.6165E-003 Elemen : V3_3	Type : Bending 3 i Beta : 2.9464 Pf : 1.6075E-003 Elemen : V3_3

Gambar B-10 Hasil Analisa Konfigurasi II pada Level 1

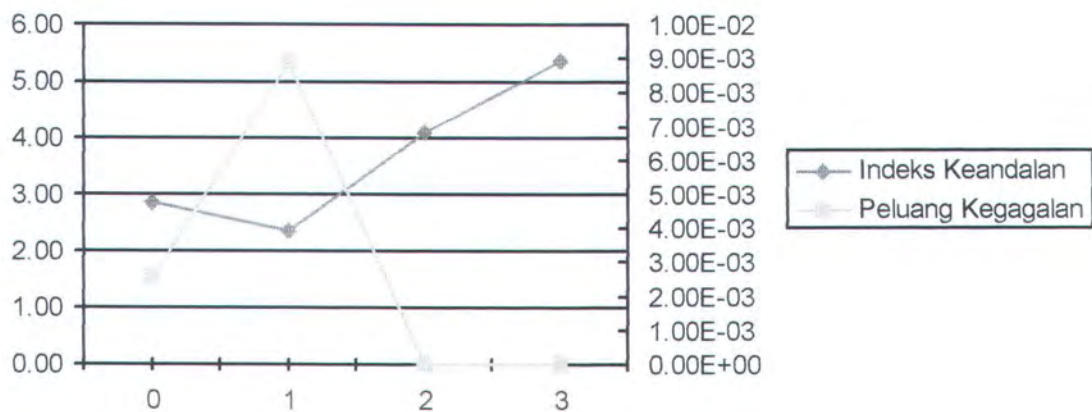
KONFIGURASI III

Tabel B - 5 Cross Section Properties

Jenis Member	Radius (m)		Ketebalan (m)	
	Mean	Std. Deviasi	Mean	Std. Deviasi
Leg	0.4318	0.004318	0.01143	0.0001143
Brace Diagonal	0.2032	0.002032	0.01143	0.0001143
Brace Horizontal	0.1524	0.001524	0.01143	0.0001143

Tabel B - 6 Hasil Running

$\Delta\beta = 0.015$		
Level	Indeks Keandalan (β)	Peluang Kegagalan (P_f)
0	2.8488	$2.5552 \cdot 10^{-3}$
1	2.3500	$8.9043 \cdot 10^{-3}$
2	4.1066	$1.0079 \cdot 10^{-5}$
3	5.3500	$4.1906 \cdot 10^{-8}$



Gambar B-11 Indeks Keandalan dan Peluang Kegagalan per Level

FormZipLayer			
Max Level : 0			
Beta : 2.8488			
Pf : 2.5552E-003			
Type : Bending 2 i	Type : Bending 2 j	Type : Bending 3 j	Type : Bending 3 i
Beta : 2.8488	Beta : 2.8520	Beta : 2.8622	Beta : 2.8623
Pf : 2.5552E-003	Pf : 2.1725E-003	Pf : 2.1033E-003	Pf : 2.1031E-003
Elemen : V3_3	Elemen : V3_3	Elemen : V3_2	Elemen : V3_2

Gambar B-12 Hasil Analisa Konfigurasi III pada Level 0

FormZipLayer			
Max Level : 1			
Beta : 2.3500			
Pf : 8.9043E-003			
Beta Paralel 2.8488 Pf Paralel 2.5552E-003	Beta Paralel 2.8520 Pf Paralel 2.1725E-003	Beta Paralel 2.8622 Pf Paralel 2.1033E-003	Beta Paralel 2.8623 Pf Paralel 2.1031E-003
Type : Bending 2 i	Type : Bending 2 j	Type : Bending 3 j	Type : Bending 3 i
Beta : 2.8488	Beta : 2.8520	Beta : 2.8622	Beta : 2.8623
Pf : 2.5552E-003	Pf : 2.1725E-003	Pf : 2.1033E-003	Pf : 2.1031E-003
Elemen : V3_3	Elemen : V3_3	Elemen : V3_2	Elemen : V3_2

Gambar B-13 Hasil Analisa Konfigurasi III pada Level 1

FormZipLayer			
Max Level : 2			
Beta : 4.1066			
Pf : 2.0079E-005			
Beta Paralel 4.4500 Pf Paralel 5.0913E-006	Beta Paralel 4.4500 Pf Paralel 4.7705E-006	Beta Paralel 4.4500 Pf Paralel 5.1090E-006	Beta Paralel 4.4500 Pf Paralel 5.1085E-006
Type : Bending 2 i	Type : Bending 2 j	Type : Bending 3 j	Type : Bending 3 i
Beta : 2.8488	Beta : 2.8520	Beta : 2.8622	Beta : 2.8623
Pf : 2.5552E-003	Pf : 2.1725E-003	Pf : 2.1033E-003	Pf : 2.1031E-003
Elemen : V3_3	Elemen : V3_3	Elemen : V3_2	Elemen : V3_2
Type : Bending 3 j	Type : Bending 3 i	Type : Bending 2 i	Type : Bending 2 j
Beta : 2.8621	Beta : 2.8622	Beta : 2.8487	Beta : 2.8487
Pf : 2.1040E-003	Pf : 2.1037E-003	Pf : 2.5552E-003	Pf : 2.5552E-003
Elemen : V3_2	Elemen : V3_2	Elemen : V3_3	Elemen : V3_3

Gambar B-14 Hasil Analisa Konfigurasi III pada Level 2

FormZiplayer			
Max Level : 3			
Beta : 5.3500			
Pf : 4.1906E-008			
Beta Paralel 5.6500 Pf Paralel 1.0688E-008	Beta Paralel 5.6500 Pf Paralel 9.9072E-009	Beta Paralel 5.6500 Pf Paralel 1.0685E-008	Beta Paralel 5.6500 Pf Paralel 1.0625E-008
Type : Bending 2 i Beta : 2.8488 Pf : 2.5552E-003 Elemen : V3_3	Type : Bending 2 i Beta : 2.8520 Pf : 2.1725E-003 Elemen : V3_3	Type : Bending 3 i Beta : 2.8622 Pf : 2.1033E-003 Elemen : V3_2	Type : Bending 3 i Beta : 2.8623 Pf : 2.1031E-003 Elemen : V3_2
Type : Bending 3 j Beta : 2.8621 Pf : 2.1040E-003 Elemen : V3_2	Type : Bending 3 j Beta : 2.8622 Pf : 2.1037E-003 Elemen : V3_2	Type : Bending 2 i Beta : 2.8487 Pf : 2.5552E-003 Elemen : V3_3	Type : Bending 2 i Beta : 2.8487 Pf : 2.5552E-003 Elemen : V3_3
Type : Bending 3 i Beta : 2.8643 Pf : 2.0897E-003 Elemen : V3_3	Type : Bending 3 i Beta : 2.8643 Pf : 2.0896E-003 Elemen : V3_3	Type : Bending 3 i Beta : 2.8643 Pf : 2.0897E-003 Elemen : V3_3	Type : Bending 3 i Beta : 2.8661 Pf : 2.0781E-003 Elemen : V3_3

Gambar B-15 Hasil Analisa Konfigurasi III pada Level 3

FormZiplayer			
Max Level : 0			
Beta : 2.7669			
Pf : 2.5552E-003			
Type : Bending 2 i	Type : Bending 2 j	Type : Bending 3 i	Type : Bending 3 j
Beta : 2.7669	Beta : 2.7702	Beta : 2.7808	Beta : 2.7808
Pf : 2.5552E-003	Pf : 2.5552E-003	Pf : 2.5552E-003	Pf : 2.5552E-003
Elemen : V3_3	Elemen : V3_3	Elemen : V3_2	Elemen : V3_2

Gambar B-17 Hasil Analisa Konfigurasi IV pada Level 0

FormZiplayer			
Max Level : 1			
Beta : 2.3196			
Pf : 1.0182E-002			
Beta Paralel 2.7669	Beta Paralel 2.7702	Beta Paralel 2.7808	Beta Paralel 2.7808
Pf Paralel 2.5552E-003	Pf Paralel 2.5552E-003	Pf Paralel 2.5552E-003	Pf Paralel 2.5552E-003
Type : Bending 2 i	Type : Bending 2 j	Type : Bending 3 i	Type : Bending 3 j
Beta : 2.7669	Beta : 2.7702	Beta : 2.7808	Beta : 2.7808
Pf : 2.5552E-003	Pf : 2.5552E-003	Pf : 2.5552E-003	Pf : 2.5552E-003
Elemen : V3_3	Elemen : V3_3	Elemen : V3_2	Elemen : V3_2

Gambar B-18 Hasil Analisa Konfigurasi IV pada Level 1

FormZiplayer			
Max Level : 2			
Beta : 4.0500			
Pf : 2.6116E-005			
Beta Paralel 4.3500	Beta Paralel 4.3500	Beta Paralel 4.3500	Beta Paralel 4.3500
Pf Paralel 6.5290E-006	Pf Paralel 6.5290E-006	Pf Paralel 6.5290E-006	Pf Paralel 6.5290E-006
Type : Bending 2 i	Type : Bending 2 j	Type : Bending 3 i	Type : Bending 3 j
Beta : 2.7669	Beta : 2.7702	Beta : 2.7808	Beta : 2.7808
Pf : 2.5552E-003	Pf : 2.5552E-003	Pf : 2.5552E-003	Pf : 2.5552E-003
Elemen : V3_3	Elemen : V3_3	Elemen : V3_2	Elemen : V3_2
Type : Bending 3 j	Type : Bending 3 i	Type : Bending 2 i	Type : Bending 2 j
Beta : 2.7807	Beta : 2.7807	Beta : 2.7668	Beta : 2.7668
Pf : 2.5552E-003	Pf : 2.5552E-003	Pf : 2.5552E-003	Pf : 2.5552E-003
Elemen : V3_2	Elemen : V3_2	Elemen : V3_3	Elemen : V3_3

Gambar B-19 Hasil Analisa Konfigurasi IV pada Level 2

FormZipLayer			
Max Level : 3			
Beta : 5.2741			
Pf : 6.6731E-008			
Beta Paralel 5.5229 Pf Paralel 1.6683E-008	Beta Paralel 5.5229 Pf Paralel 1.6683E-008	Beta Paralel 5.5229 Pf Paralel 1.6683E-008	Beta Paralel 5.5229 Pf Paralel 1.6683E-008
Type : Bending 2 i Beta : 2.7669 Pf : 2.5552E-003 Elemen : V3_3	Type : Bending 2 j Beta : 2.7702 Pf : 2.5552E-003 Elemen : V3_3	Type : Bending 3 j Beta : 2.7808 Pf : 2.5552E-003 Elemen : V3_2	Type : Bending 3 i Beta : 2.7808 Pf : 2.5552E-003 Elemen : V3_2
Type : Bending 3 j Beta : 2.7807 Pf : 2.5552E-003 Elemen : V3_2	Type : Bending 3 j Beta : 2.7807 Pf : 2.5552E-003 Elemen : V3_2	Type : Bending 2 i Beta : 2.7668 Pf : 2.5552E-003 Elemen : V3_3	Type : Bending 2 i Beta : 2.7668 Pf : 2.5552E-003 Elemen : V3_3
Type : Bending 3 i Beta : 2.7829 Pf : 2.5552E-003 Elemen : V3_3	Type : Bending 3 i Beta : 2.7829 Pf : 2.5552E-003 Elemen : V3_3	Type : Bending 3 i Beta : 2.7829 Pf : 2.5552E-003 Elemen : V3_3	Type : Bending 3 i Beta : 2.7847 Pf : 2.5552E-003 Elemen : V3_3

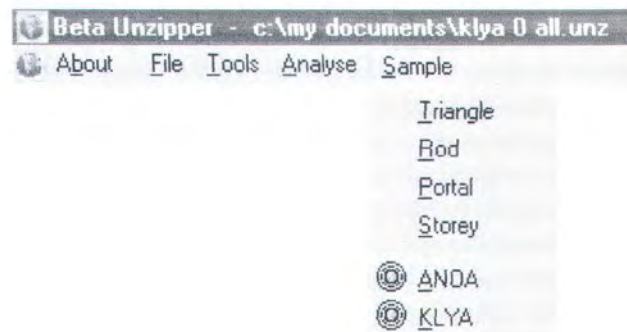
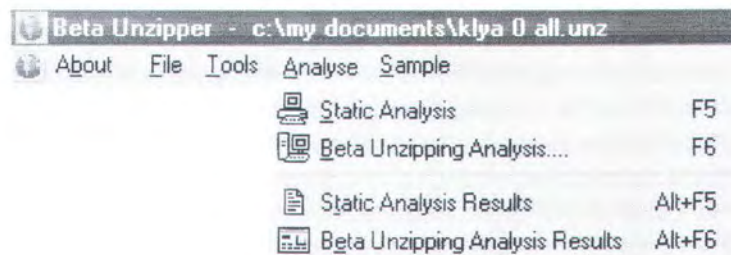
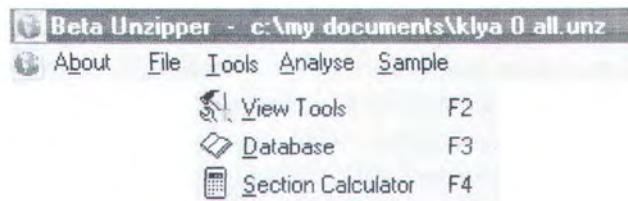
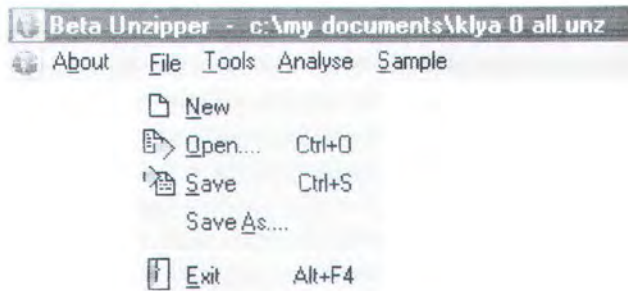
Gambar B-20 Hasil Analisa Konfigurasi IV pada Level 3



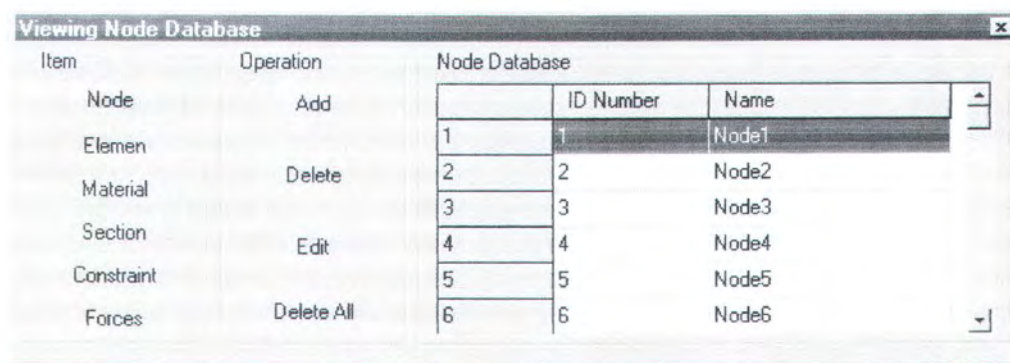
LAMPIRAN C

User Interface Beta Unzipper

I. Menu Beta Unzipper



II. Input Data Struktur



Gambar C-1 Window untuk mengedit dan membuat data-data struktur

The 'Editing Node' dialog box contains the following fields and controls:

- Name: Node5
- IDNumber: 5
- IDInc.: 1
- X: 94.5825
- Y: 54.61
- Z: 88.392
- Navigation buttons: First, Prior, Next, Last
- Action buttons: OK, Cancel

Gambar C-2 Form untuk membuat/mengedit node

The 'Editing Elemen' dialog box contains the following fields and controls:

- Name: L3_1
- IDNumber: 5
- IDInc.: 1
- Node Definition:
 - Node I: Node7
 - Node J: Node8
- Associate Section: SecLeg
- Elemen Orientation:
 - ☒ Default
 - ☐ by Axis
 - ☐ by Node
 - ☐ by Position
- Navigation buttons: First, Prior, Next, Last
- Action buttons: OK, Cancel

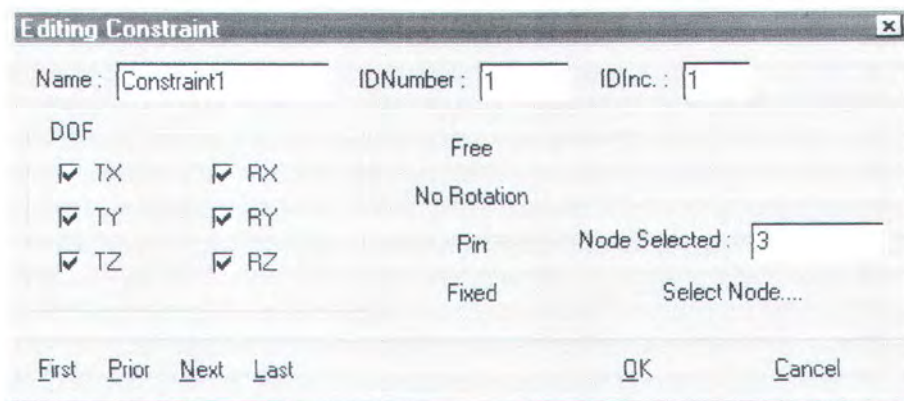
Gambar C-3 Form untuk membuat/mengedit elemen

Editing Material						
Name :	Material1	IDNumber : 1 IDInc. : 1				
Stiffness						
Young Modulus :	21000000000	Shear Modulus : 16800000000				
Stress Limit :	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Mean Value</th> <th>Standard Deviation</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>240000000</td> <td>2400000</td> </tr> </tbody> </table>	Mean Value	Standard Deviation	240000000	2400000	
Mean Value	Standard Deviation					
240000000	2400000					
First Prior Next Last OK Cancel						

Gambar C-4 Form untuk membuat/mengedit material

Editing Section		
Name :	SecBrace	IDNumber : 2 IDInc. : 1
Properties Values		
	Mean Value	Standard Deviation
A :	0.0162146393311199	0.0002293096285105
J :	0.0006695063494953	0.0001089877375138
I22 :	0.0003347531747476	1.05858248617506E-5
I33 :	0.0003347531747476	1.05858248617506E-5
S22 :	0.0016474073560417	3.68371483474263E-5
S33 :	0.0016474073560417	3.68371483474263E-5
Post Failure Behavior		
<input type="radio"/> Brittle <input checked="" type="radio"/> Ductile		
Fictitious Load Factor		
0.5		
Associate Material		
Material1		
Section Calculator		
First Prior Next Last OK Cancel		

Gambar C-5 Form untuk membuat/mengedit data cross section



Editing Constraint

Name: IDNumber: IDInc.:

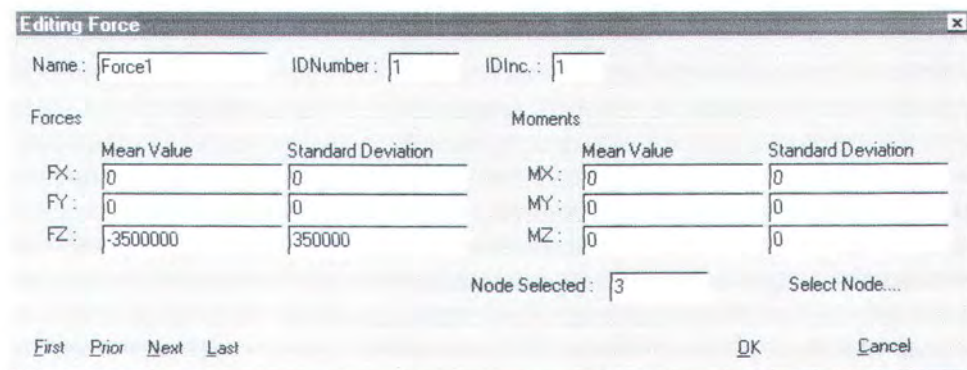
DOF

<input checked="" type="checkbox"/> TX	<input checked="" type="checkbox"/> RX	Free
<input checked="" type="checkbox"/> TY	<input checked="" type="checkbox"/> RY	No Rotation
<input checked="" type="checkbox"/> TZ	<input checked="" type="checkbox"/> RZ	Pin
		Fixed

Node Selected: Select Node....

First Prior Next Last OK Cancel

Gambar C-6 Form untuk membuat/mengedit Constraint



Editing Force

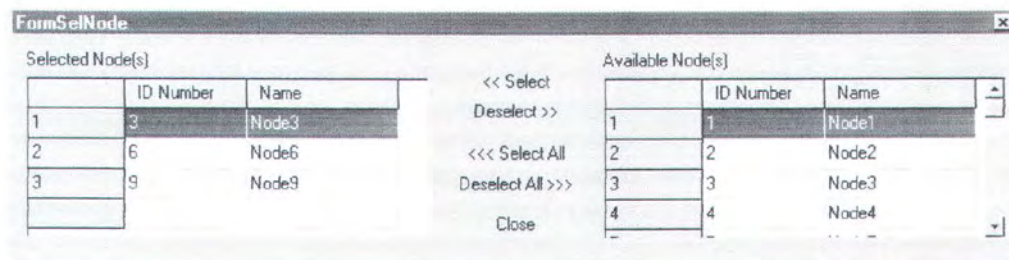
Name: IDNumber: IDInc.:

Forces		Moments	
	Mean Value	Standard Deviation	
FX:	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	MX:
FY:	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	MY:
FZ:	<input type="text" value="-3500000"/>	<input type="text" value="350000"/>	MZ:

Node Selected: Select Node....

First Prior Next Last OK Cancel

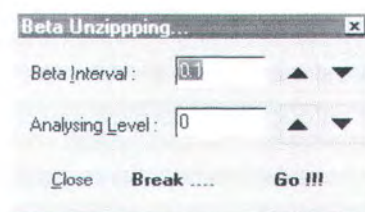
Gambar C-7 Form untuk membuat/mengedit Force/Momen



FormSelNode

Selected Node(s)				Available Node(s)		
	ID Number	Name			ID Number	Name
1	3	Node3	<< Select	1	1	Node1
2	6	Node6	Deselect >>	2	2	Node2
3	9	Node9	<<< Select All	3	3	Node3
			Deselect All >>>	4	4	Node4
			Close			

Gambar C-8 Form untuk memilih Node dalam data Force dan Constraint



Beta Unzipping...

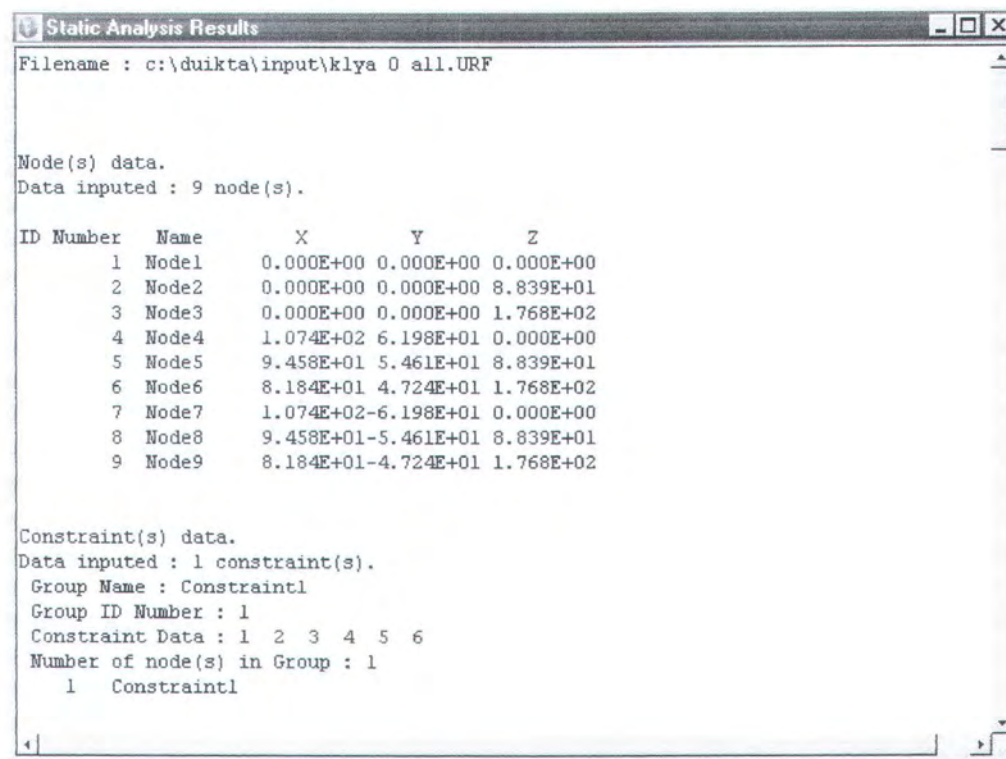
Beta Interval: ▲ ▼

Analysing Level: ▲ ▼

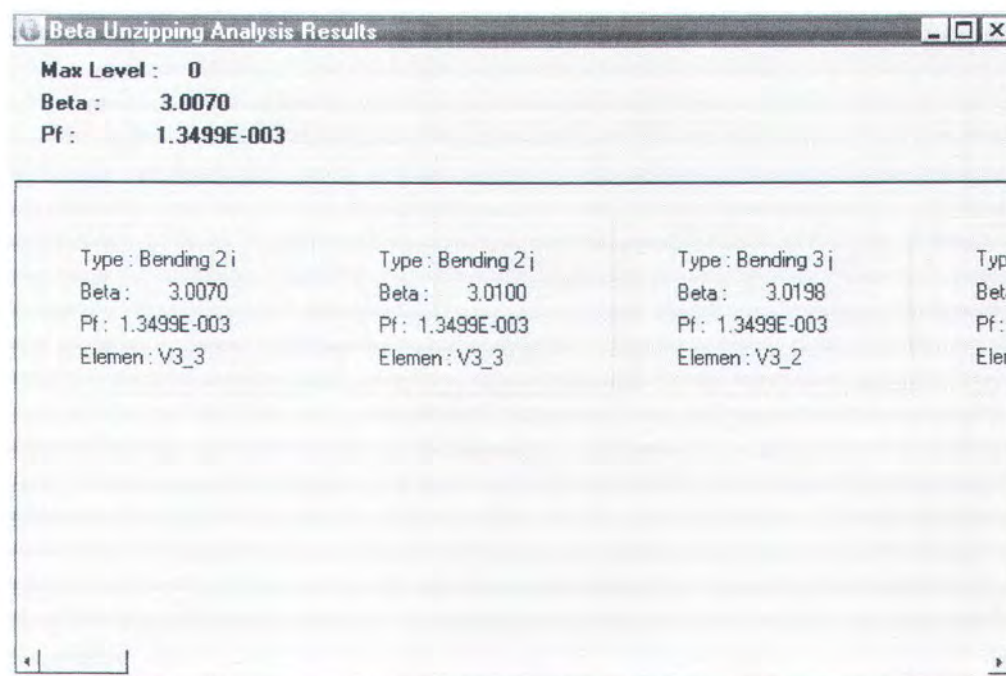
Close Break Go !!!

Gambar C-9 Form untuk melakukan analisa β Unzipping

III. Output Beta Unzipper



Gambar C-9 Hasil Analisa Statis

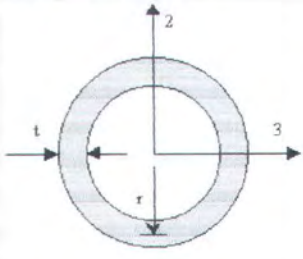
Gambar C-10 Hasil Analisa β Unzipping

IV. Modul Tambahan

Section Calculator

Please select according to your Cross Section Type

Cylinder Pipe ☒ Box



	Mean Value	Standard Deviation
Radius (r):	0.4318	0.004318
Thickness (t):	0.0127	0.000127

Compute

Computed Properties

	Mean Value	Standard Deviation
A:	0.0344561085786298	0.0004872829605849
J:	0.0064243841700601	0.0021927769936467
I22:	0.0032121920850300	0.0001015784327066
I33:	0.0032121920850300	0.0001015784327066
S22:	0.0074390738421261	0.0001663427480063
S33:	0.0074390738421261	0.0001663427480063

Transfer to Active Section

Clear All

Close

Gambar C-11 Modul Section Calculator

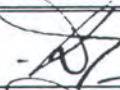



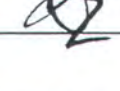

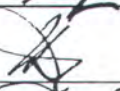


LEMBAR PRESENSI KONSULTASI TUGAS AKHIR

LEMBAR PRESENSI KONSULTASI TUGAS AKHIR

**JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA**

LEMBAR PRESENSI KONSULTASI TUGAS AKHIR

NAMA MAHASISWA : Dwi Kristianto
 NOMOR POKOK : 4392.100.033
 NAMA DOSEN PEMBIMBING : 1. Ir. Daniel M. Rosyid, PhD.
 2. Ir. Eko Budi Djatmiko, Msc., PhD.
 TUGAS DIMULAI :
 DISELESAIKAN :
 JUDUL TUGAS AKHIR : Analisa Keandalan Bangunan Lepas Pantai tipe
 Terpancang dengan Metode β Unzipping.

NO	TANGGAL	KONSULTASI MENGENAI	TANDA TANGAN DOSEN PEMBIMBING
1.	18/03'99	Pelajaran konsep dasar	
2.	16/05'99	Pembahasan konsep β Unzipping the met-	
3.	02/08'99	Pembahasan	
4.	02/08'99	Pembahasan	
5.	20/08'99	Pelajaran penyusunan software	
6.			
7.	14/9'99	Cek lagi analisis struktur	
8.	22/11'99	Perbaikan program	
9.	4/12'99	Sampe sudah program	
10.	12/12'99	Hasil program	

CATATAN : LEMBAR PRESENSI INI HARUS DITUNJUKKAN PADA SAAT UJIAN
TUGAS AKHIR.

LEMBAR PRESENSI KONSULTASI TUGAS AKHIR